64

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen Jakubaschk

Die Glimmlampe und ihre Anwendung in der Amateurpraxis

Der praktische Funkamateur · Band 64

Die Glimmlampe und ihre Anwendungen

in der Amateurpraxis

HAGEN JAKUBASCHK

Die Glimmlampe und ihre Anwendungen in der Amateurpraxis



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die Entwicklung der Amateurpraxis hat gezeigt, daß es notwendig ist, dem Amateur – insbesondere dem wenig erfahrenen Bastler und Nachwuchsamateur – einzelne Bauelemente mit speziellen Eigenschaften zu beschreiben. Damit erhält der Amateur die Möglichkeit, sich über Eigenschaften, Anwendungsgebiete sowie über die sachgerechte Behandlung solcher Bauelemente einen zusammenhängenden Überblick zu verschaffen. Für verschiedene im Vordergrund stehende „aktive" Bauelemente (wie Halbleiter) oder einige wesentliche Grundbauelemente (Kondensatoren, Widerstände) sind solche Zusammenfassungen in dieser Broschürenreihe bereits erschienen. Dagegen gibt es in der gesamten für den Amateur bestimmten DDR-Literatur bisher noch keine zusammenfassende Darstellung von Gasentladungsröhren. Gerade Gasentladungsröhren weisen aber eine Reihe von Besonderheiten auf, die zwar dem erfahrenen Amateur mehr oder weniger bekannt sind, in der Bastelpraxis aber häufig nicht beachtet werden. Diese Besonderheiten gestatten eine vielseitige Anwendung der Glimmröhre, erschweren sie aber andererseits. Deshalb kann es bei Unkenntnis der Zusammenhänge zu Bauteilschäden und unnötigem Materialverschleiß kommen. Ziel dieses – insbesondere für den weniger erfahrenen Amateur bestimmten – Heftes ist es daher, eine auf die Amateurpraxis zugeschnittene, zusammenfassende Darstellung der Glimmentladung und ihrer Anwendungen zu geben.

Die Glimmröhre stellt – wenn man von einigen Sonderformen absieht – ein relativ „altbekanntes" und außerdem preiswertes Bauelement dar. Ihre Anwendung in der Amateurpraxis ist daher nicht neu, und ebensowenig sind es die hier zusammengestellten Schaltungslösungen. Dem fortgeschrittenen Amateur werden sie in der Mehrzahl bekannt sein. Es ist aber immer wieder festzustellen, daß

selbst der fortgeschrittene Amateur die zahlreichen Möglichkeiten dieses scheinbar „primitiven" Bauelements Glimmlampe nicht ausnutzt und statt dessen zu unnötig aufwendigen Schaltungslösungen greift. Deshalb soll dieses Heft dem Anfänger eine zusammenfassende Orientierung über Funktionsweise und Anwendung der Glimmlampe geben, dem Fortgeschrittenen hingegen soll es Überblick und „Gedächtnisstütze" sein.

Nahmitz bei Brandenburg, im Januar 1966

Hagen Jakubaschk

1. Grundlagen der Gasentladung

1.1. Der prinzipielle Mechanismus der Gasentladung

Gasentladungsröhren stellen luftdichte Gefäße (meist aus Glas) dar. Sie sind mit einem Gas unter sehr niedrigem Druck gefüllt und haben zwei Hauptelektroden. Einige Sonderformen können noch mehrere Hilfselektroden aufweisen. Die Elektroden haben untereinander keine leitende Verbindung und bestehen meist aus Reinmetall (in vielen Fällen Molybdän u. ä. Metalle). Bei den hier besprochenen Gasentladungsröhren sind sämtliche Elektroden „kalt", also nicht geheizt wie etwa die Katode bei Rundfunkröhren.
Die Gasfüllung besteht bei den in der Amateurpraxis üblichen Gasentladungsröhren meist aus Neon, seltener aus einem anderen Edelgas, auch Edelgasgemisch oder Quecksilberdampf bzw. Edelgas/Quecksilberdampf-Gemisch.
Die dem Amateur geläufigste und wohl auch einfachste Form einer Gasentladungsröhre ist die Glimmlampe. Im weiteren Sinne gehören auch Reklameleuchtröhren (Leuchtschriften, „Neonröhre", die aber keineswegs immer Neon enthält) und die Leuchtstofflampe für Raumbeleuchtung zu den Gasentladungsröhren. Unter den Glimmlampen ist eine der am einfachsten aufgebauten und zugleich am vielseitigsten verwendbaren die bekannte kleine Prüfstift-Glimmlampe, wie sie Spannungsprüfstifte („Polprüfer") enthalten. Sie besteht aus einem kleinen zugeschmolzenen Glasröhrchen, durch das beiderseits zwei Metallstifte als Elektroden in den gasgefüllten Innenraum hineinragen. Diese Ausführungsform ist schematisch in Bild 1.1. dar-



Bild 1.1.
Prinzipieller Aufbau einer Stabglimmlampe

gestellt und kann für die weiteren Erläuterungen als „Modell" dienen.
Die Vorgänge in der Gasentladungsröhre sind grundsätzlich andere als in einer Rundfunkröhre. An die Elektroden der Glimmlampe wird eine kleine Gleichspannung angelegt. Da die Elektroden sich nicht berühren und die Gasfüllung nicht leitet, kommt zunächst kein Stromfluß zustande – es geschieht anscheinend nichts. Im Inneren der Röhre besteht jedoch zwischen den Elektroden ein elektrisches Kraftfeld.
Für das weitere Verständnis der Vorgänge muß man sich daran erinnern, daß ein Atom – also auch die Atome der Gasfüllung – aus (für unsere Zwecke vereinfacht angenommen) zwei „Arten" von Bestandteilen besteht: dem Atomkern mit elektrisch positiver Ladung und den negativ geladenen Elektronen, die diesen Kern umkreisen. Normalerweise sind je Atomkern so viele Elektronen vorhanden, daß ihre negative Ladung zusammengenommen die positive Ladung des Atomkerns gerade aufhebt – das Atom ist nach außen hin elektrisch neutral. Werden einem solchen Atom ein oder mehrere Elektronen „fortgenommen" – beispielsweise durch äußere Kräfteeinwirkung –, so überwiegt die positive Kernladung. Das Atom verhält sich insgesamt elektrisch positiv. Solche Atome mit „zuwenig" Elektronen und demzufolge positiver Ladung werden als Ionen bezeichnet, den Vorgang der Trennung eines oder einiger Elektronen vom zugehörigen Atom nennt man Ionisierung.
Die nunmehr „freien" Elektronen haben negative Ladung. Sich selbst überlassen, wird jedes dieser Elektronen, sobald es in Nähe eines Ions kommt, von dessen positiver Ladung angezogen und vereint sich wieder mit dem Ion. Diesen Vorgang bezeichnet man als Rekombination. Sobald ein Ion mit der ihm „fehlenden" Zahl von Elektronen rekombiniert hat, ist es wieder ein elektrisch neutrales Atom.
Die stofflichen (chemischen und physikalischen) Eigenschaften eines Atoms oder Atomverbands werden im

wesentlichen von dessen Atomkern bestimmt, insbesondere auch seine Masse. Eine Ansammlung ionisierter Neon-Atom beispielsweise ist deshalb im Rahmen unserer angestellten Überlegungen ebenso „Gas" wie das normale, elektrisch neutrale Neongas! Die stofflichen Eigenschaften eines ionisierten Gases kann man sich also vereinfacht als den Ionen eigen denken. Diese stark vereinfachte Vorstellung von den an sich sehr komplizierten physikalischen Zusammenhängen ist zum Verständnis der Glimmlampe für den Amateur ausreichend.

Kehren wir zurück zu der Glimmlampe mit an den Elektroden anliegender geringer Gleichspannung. Das Zustandekommen des nachfolgend beschriebenen Ionisationsvorgangs setzt nun einige wenige Ionen und Elektronen in der Gasfüllung voraus. Sie sind jedoch auch ohne angelegte Spannung immer in geringer Anzahl in der Gasfüllung vorhanden. Ursache dafür ist unter anderem die aus dem Weltall zu uns dringende, auf der Erde überall vorhandene kosmische Höhenstrahlung. Sie bewirkt beim Auftreffen auf einzelne Gas-Atome ein „Herausschlagen" eines Elektrons aus der Atomhülle und damit Ionisierung dieses Atoms. Zwar rekombinieren die so entstehenden Ionen bald mit den zugleich frei werdenden Elektronen wieder, inzwischen wurden aber andere Atome ionisiert, so daß ständig einige Ionen und freie Elektronen vorhanden sind. Ihre Anzahl kann man bei Gasentladungsröhren in Sonderfällen künstlich steigern, indem beispielsweise eine sehr geringe (für Menschen völlig ungefährliche) Menge einer radioaktiven Substanz in den Röhrenkolben mit eingebracht wird, oder man läßt auf die Gasfüllung starkes Licht, Röntgenstrahlung o. ä. einwirken. Auch kann man durch starke Hochfrequenzstrahlung, durch zusätzliche Hilfselektroden und ähnliche Maßnahmen für eine ausreichende „Vor-Ionisation" sorgen, wie wir noch sehen werden.

Beim Anlegen einer Gleichspannung an die Elektroden der Glimmlampe ist eine der Elektroden positiv, die andere negativ geladen. Das zwischen ihnen bestehende elektri-

sche Kraftfeld bewirkt, daß sich die vorhandenen Ionen in Richtung zur negativen Elektrode (der Katode) bewegen, da sie von deren gegensätzlicher Ladung angezogen werden. Die Elektronen dagegen wandern aus dem gleichen Grund zur positiven Elektrode, der Anode. Dabei prallen die Ionen und Elektronen jedoch immer wieder auf die – weit in der Überzahl vorhandenen – elektrisch neutralen Atome und kommen dadurch fast immer wieder vorzeitig zum Stillstand, bis sie schließlich u. U. sogar rekombinieren. Wir erhöhen nun allmählich die außen angelegte Spannung. Das Kraftfeld zwischen den Elektroden wird stärker, die Ionen und Elektronen haben also mehr Bewegungsenergie und prallen stärker auf die neutralen Atome auf. Bei einer bestimmten (von Röhrentyp, Elektrodenform, Gasdruck und Gasfüllung und vielen anderen Faktoren abhängenden) Spannung haben die Ionen schließlich ausreichend Bewegungsenergie, das neutrale Gas-Atom beim Aufprall gleichfalls zu ionisieren – aus dem Gas-Atom wird ebenfalls ein Elektron „herausgeschlagen". Dadurch wächst die Anzahl der geladenen Teilchen und mit ihnen die Zahl weiterer Ionisationsvorgänge. Dieser Vorgang nimmt lawinenartig zu, bis schließlich fast die gesamte Gasfüllung zwischen den Elektroden ionisiert ist. Nunmehr kann sich ein starker Elektronenstrom zur Anode bewegen, die die Elektronen aufnimmt und über den äußeren Stromkreis zur Stromquelle ableitet. Die Ionen bewegen sich zur Katode, prallen dort auf und nehmen die von der Stromquelle nachströmenden Elektronen auf, rekombinieren und sind damit wieder elektrisch neutral. Von den nachfolgenden Ionen werden sie aber sofort in Katodennähe erneut ionisiert – die „Ionisationslawine" hält an, und es fließt ständig ein Strom durch die Röhre; die ionisierte Gasfüllung leitet! Die dabei in Katodennähe ständig auftretende Rekombination und Ionisation der Atome regt diese zu Schwingungen an, die Atome strahlen Licht aus. Vorwiegend in Katodennähe beginnt die Gasfüllung zu leuchten. Da dieses Licht nicht durch äußerlich zugeführte Wärme entsteht, handelt es sich um ein kaltes

Glimmlicht (das der Glimmröhre den Namen gab), kein Glühen des Gases!
Das Licht zeigt deshalb auch eine der jeweiligen Gasfüllung eigentümliche (bei Neon rötliche) Färbung genau definierter spektraler Zusammensetzung. Aus der Farbe kann man also die Gas-Art erkennen. Gleichzeitig kommt es allerdings zu einer mehr oder weniger auffälligen Erwärmung der Katode, die durch den Aufprall der Ionen entsteht und mit dem Entladungsvorgang nicht unmittelbar zusammenhängt. Immerhin wird die Katode durch die aufprallenden Gas-Atome weit stärker belastet als die Anode, die lediglich die Elektronen aufzunehmen hat. Für die Gesamtbelastbarkeit der Glimmröhre ist daher vorwiegend ihre Katodenbelastbarkeit maßgebend. Deshalb ist bei vielen Ausführungen die Katode großflächiger als die Anode. Gleich große Elektroden für Katode und Anode findet man entweder bei Glimmröhren, deren Polarität wechselt, oder bei technologisch besonders einfach gebauten Glimmröhren, z. B. für Signalzwecke.
Die Lichterscheinung tritt in unmittelbarer Katodennähe auf und bedeckt die Katode ganz oder bei geringerer Stromstärke nur teilweise; im Bereich der höchsten Feldstärke mit einem dünnen und nicht ganz scharf abgegrenzten „leuchtenden Schleier". Man kann daher die Polarität der angelegten Spannung leicht erkennen – die „leuchtende" Elektrode ist die Katode und liegt demzufolge am Minuspol der Spannungsquelle; Bild 1.1. deutet das an.
Bei sehr langer Betriebsdauer oder besonders bei zu hoher Strombelastung der Katode kommt es zu merklicher „Katodenzerstäubung". Das Katodenmetall wird dann von den auftreffenden Gas-Ionen allmählich abgetragen und zerstäubt – es setzt sich in Katodennähe meist auf dem Röhrenglaskolben als schwärzlicher Belag wieder ab.
Solange sich die elektrischen Kennwerte der Glimmröhre (Näheres darüber im nächsten Abschnitt) dabei nicht verändern und die Erkennbarkeit des Glimmlichts (falls es auf diese ankommt) nicht sehr verschlechtert wird, ist das ohne Bedeutung.

1.2. Betriebsweise und Kenndaten der Glimmröhre

Um den zunächst vorhandenen wenigen Ionen eine ausreichende Bewegungsenergie zu erteilen, die sie zur Ionisation benachbarter Gas-Atome befähigt, ist eine bestimmte Mindestspannung erforderlich, wie im vorigen Abschnitt bereits erläutert wurde. Diese Spannung wird als *Zündspannung* (im folgenden abgekürzt Uz) bezeichnet. Bei dieser Spannung kommt die Ionenlawine und mit ihr der Stromfluß durch die Röhre zustande. Sie stellt eine für jede Röhre typische, allerdings nicht ganz konstante Größe dar, die durch Einwirkung zusätzlicher ionisierender Faktoren (Licht, radioaktive Strahlung oder HF-Felder) verringert werden kann, was oftmals unerwünscht ist.
Hat sich die Ionenlawine einmal gebildet und ist die Entladung im Gange, dann kann die angelegte Spannung so weit verringert werden, daß gerade noch die zur Aufrechterhaltung der Ionisation in Katodennähe erforderliche Energie zugeführt wird. Diese zur Aufrechterhaltung des einmal begonnenen Stromflusses erforderliche Spannung wird als *Brennspannung* bezeichnet (im folgenden abgekürzt Ub). Sie ist ebenfalls eine für die Röhre typische Größe und kann beträchtlich unter dem Wert der Zündspannung liegen.
Verringert man die Spannung weiter unter diesen Wert, dann reicht die Energie der meisten Ionen und Elektronen nicht mehr zur Ionisation anderer Atome aus. Damit verringert sich die Anzahl der Ionen rapid, die Entladung reißt ab, und der Stromfluß hört ebenso schlagartig auf, wie er begann. Die Spannung, bei der die Röhre verlischt, heißt *Löschspannung* (im folgenden abgekürzt Ul). Sie ist ebenso wie die anderen eine röhrentypische Größe und hängt wie diese im weiten Umfang von Konstruktion, Gas-Art, Fülldruck, Elektrodenform und -größe, Länge der Entladungsstrecke usw. ab.
Zwischen den drei bisher genannten Kenngrößen, die zugleich die für die Anwendung wichtigsten sind, besteht demzufolge die Beziehung Uz > Ub > Ul.

Sehr wichtig ist die Tatsache – die vom Anfänger oft mißverstanden oder ganz übersehen wird –, daß die Glimmröhre (die der Amateur im ungezündeten Zustand als nichtleitend ansehen kann) im gezündeten Zustand eine fallende Strom/Spannungs-Kennlinie hat. Das bedeutet, daß an der Röhre zunächst einmal wie bei jedem Widerstand ein Spannungsabfall auftritt, sobald Brennstrom fließt, daß aber dieser Spannungsabfall mit zunehmendem Brennstrom nicht wie gewohnt größer, sondern geringer wird! Die Röhre hat also im gezündeten Zustand einen „negativen Innenwiderstand". Nach dem Ohmschen Gesetz betrachtet, würde das bedeuten: Berechnet man aus Spannungsabfall (der bei dem für die Röhre vorgeschriebenen Brennstrom identisch mit dem Wert der Brennspannung ist) und Brennstrom den Innenwiderstand, so ergibt sich rechnerisch ein Wert mit negativen Vorzeichen; der Innenwiderstand ist also gewissermaßen „kleiner als Null Ohm". Das Entstehen dieses negativen Innenwiderstands kann man sich so vorstellen:

Sobald die Zündung erfolgt ist, fließt ein Strom durch die Röhre. Die Ionen und Elektronen ionisieren weitere Gasmoleküle, die Ionen- und Elektronendichte nimmt also zu. Es stehen somit mehr „Träger" für den Stromfluß zur Verfügung – der fließende Strom wird stärker. Dadurch wird aber die Ionisation weiter verstärkt, weitere Ladungsträger werden frei, der Strom steigt noch weiter an usw. Die Stromstärke würde also nach Zündung lawinenartig ansteigen, wobei es zur Lichtbogenbildung und Zerstörung der Elektroden – besonders auch der Katode – kommen kann. In dem Maße, in dem die Ionisation zunimmt, verringert sich aber auch die von außen zuzuführende Energie für die Ionisation der restlichen Atome, d. h., die Gasentladungsstrecke benötigt um so weniger Spannung, je stärker der Strom (und damit Ionisation und Ladungsträgerdichte) ist. Mit zunehmendem Strom wird die Ladungsträgerdichte größer, der Bedarf an Ionisationsenergie somit geringer. Da die von außen „nachzuliefernde" Energie der elektrischen Leistung proportional ist, diese wiederum

dem Produkt aus Strom durch die Röhre und Spannung zwischen den Elektroden, fällt die Brennspannung mit steigendem Brennstrom ab.
Diese nach außen hin als Verringerung des Innenwiderstands auftretende Erscheinung (tatsächlich ist ja größere Ladungsträgerdichte mit geringerem „Widerstand" gleichsetzbar) bedeutet aber, daß bei konstant angelegter Spannung der Strom lawinenartig immer weiter ansteigt, bis es zur Zerstörung der Röhre kommt!
Daraus ist erkennbar, daß man das ständige Anwachsen des Stromes verhindern muß – der Strom durch die Röhre muß also auf das für die jeweilige Röhre zulässige Maß begrenzt werden. Daraus ergibt sich die Grundregel für die Anwendung von Gasentladungsröhren jeglichen Typs und jeder Bauart:
Gasentladungsröhren niemals ohne Strombegrenzung betreiben!
Praktisch erfolgt diese Strombegrenzung fast immer mittels Vorwiderstands. Betrachten wir dazu Bild 1.2. (es zeigt

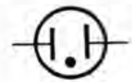


Bild 1.2.
Schaltsymbol für Glimmlampen

das Schaltsymbol für eine allgemeine Gasentladungsröhre – meist Glimmlampe – mit zwei Elektroden; der dicke schwarze Punkt deutet die Gasfüllung an) und Bild 1.3. Die Glimmröhre Gl wird über den der Strombegrenzung dienenden Vorwiderstand R_V an die Betriebsspannung U_B gelegt. Solange U_B kleiner als die Zündspannung U_Z ist, fließt kein Strom, an R_V tritt daher auch kein Spannungs-

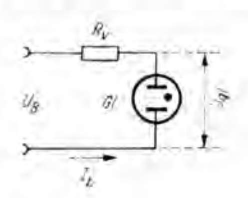


Bild 1.3.
Zur prinzipiellen Schaltung der Glimmröhre

abfall auf. Demzufolge steht an Gl die volle Betriebsspannung. Um Zündung zu erreichen, muß nach dem bisher Gesagten $U_B \geqq U_z$ sein. Dann zündet die Röhre, und es fließt ein Brennstrom I_b. Dieser erzeugt an R_v nach dem Ohmschen Gesetz einen Spannungsabfall, um dessen Betrag sich die jetzt an der Röhre anliegende Spannung U_{gl} verringert. Wenn der Brennstrom I_b zunimmt, wird der Spannungsabfall an R_v ebenfalls größer, U_{gl} um den gleichen Betrag kleiner und somit die Ionisationsenergie in Gl geringer; das wirkt dem Stromanstieg entgegen. Es stellt sich daher ein Gleichgewichtszustand ein, bei dem in der Röhre gerade die zur Aufrechterhaltung eines konstanten Stromes erforderliche Ionisation erfolgt. Die Spannung U_{gl} entspricht danach dem Wert der Brennspannung U_b.
Wir hatten bisher stets angenommen, daß an Gl Gleichspannung anliegt. Bei Betrieb mit Wechselspannung geschieht grundsätzlich das gleiche. In jeder Wechselspannungshalbwelle zündet die Röhre in dem Moment, da die Zündspannung erreicht ist, und verlöscht, wenn die Halbwelle den Wert der Löschspannung unterschreitet. In der anderen Halbwelle kehren sich lediglich Elektrodenfunktion und Stromflußrichtung um; die vorherige Katode ist nun Anode und umgekehrt – die Röhre zündet und verlöscht also in jeder Halbwelle erneut. Haben beide Elektroden gleiche Größe und Form, so sind auch U_z, U_b und U_l für beide Stromrichtungen (Halbwellen) annähernd gleich. Das katodenseitige Glimmlicht erscheint demzufolge *abwechselnd* auf der einen und der anderen Elektrode, sobald diese als Katode arbeitet. Auf Grund unserer Augenträgheit *scheinen* dann bei ausreichend schneller Richtungsumkehr der Spannung (also bei den in der Technik üblichen Frequenzen) beide Elektroden zugleich zu leuchten. Bild 1.4. zeigt die Verhältnisse bei der Glimmröhre für eine Halbwelle der Wechselspannung. Aus diesem Bild lassen sich gleichzeitig weitere interessante Eigenschaften der Glimmröhre erkennen. Die Schaltung der Glimmröhre mit Vorwiderstand erfolgt gemäß Bild 1.3. Spannung U_B

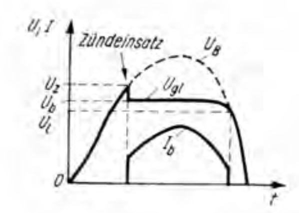


Bild 1.4.
Strom- und Spannungsverlauf an der Glimmstrecke

steigt, von Null beginnend, an, wobei zunächst kein Brennstrom Ib fließt und Ugl = U_B ist. Sobald U_B die Zündspannung Uz erreicht, zündet Gl, Ib beginnt zu fließen, und Ugl fällt auf Grund des nun wirksam werdenden Vorwiderstands auf den Wert der Brennspannung Ub ab. Die Differenz zwischen Uz und Ub ergibt die in Bild 1.4. deutlich erkennbare „Zündeinsatzspitze". Beim weiteren Anstieg von U_B nimmt der Stromfluß Ib durch Gl zu; das führt – wie bereits erläutert – zu verstärkter Ionisation und weiter anwachsendem Stromfluß. Dabei vergrößert sich aber der Spannungsabfall an Rv, weshalb Ugl trotz zunehmender Spannung U_B und zunehmenden Stroms Ib auf etwa dem gleichen, der Brennspannung Ub entsprechenden Wert bleibt! Die Spannung an der Glimmstrecke ist nun also annähernd konstant. Vergrößerung von U_B ergibt lediglich steigenden Ib – die Glimmlampe zeigt zusammen mit dem Vorwiderstand das typische Verhalten eines Spannungsbegrenzers. Erst wenn U_B sich dem Wert der Löschspannung nähert, geht Ib rapid zurück, und Ugl



Bild 1.5. Oszillografisch aufgenommener Spannungsverlauf Ugl an einer gemäß Bild 1.3. mit Wechselspannung betriebenen Glimmlampe. Die Zündeinsatzspitze der Glimmlampe ist deutlich zu erkennen

sinkt auf den Wert Ul ab. Unterschreitet U_B den Wert Ul, so verlöscht die Glimmröhre, Ib wird wieder Null.
Bild 1.5. gibt den oszillografisch aufgenommenen Spannungsverlauf Ugl an einer gemäß Bild 1.3. mit Wechselspannung betriebenen Glimmlampe wieder. Die Zündeinsatzspitze und die danach nahezu konstant bleibende Spannung in beiden Halbwellen ist deutlich ersichtlich, wie ein Vergleich mit Bild 1.4. zeigt.
Diese Kurve läßt erkennen, daß Gl tatsächlich nur während eines Teiles der „Halbwelle" U_B leuchtet und daß Ugl nahezu konstant bleibt, obwohl sich Brennstrom Ib und Speisespannung U_B beträchtlich ändern! Diese interessante Eigenschaft wird bei den unter 2.1. beschriebenen Stabilisatorröhren bewußt ausgenutzt. Dabei ist noch eine wei-



Bild 1.6.
Spannungsstabilisatorröhre in Miniaturausführung

tere, ebenfalls aus Bild 1.4. erkennbare Eigenschaft wertvoll: Wie die Kurven für Ugl und Ib zeigen, ergeben relativ große Stromänderungen nur sehr geringe Spannungsänderungen. Faßt man nun die Glimmröhre als Widerstand auf, an dem beim Strom Ib die Spannung Ugl und bei der Stromschwankung ΔIb die Spannungsschwankung ΔUgl abfallen, so ergibt sich bei Betrieb als Gleichspannungsstabilisator für die überlagerte Wechselspannung ein sehr geringer „dynamischer Innenwiderstand" der Glimmröhre. Das bedeutet, die Glimmröhre hat zusammen mit ihrem Vorwiderstand gemäß Bild 1.3. die Wirkung eines Siebglieds und verhält sich dabei gegenüber einer der Gleichspannung U_B überlagerten Wechselspannung ähnlich wie ein an Stelle von Gl angeschlossener großer Kondensator! Tatsächlich kann die Glimmröhre, in ein Netzteil als Stabilisator eingesetzt, dort häufig zugleich den sonst üblichen Siebkondensator ersetzen. Im allgemeinen ist die Parallelschaltung eines Kondensators zu einer Glimmröhre in diesem Fall sogar unzulässig, weil dabei – wie unter 2.3. erläutert wird – Kippschwingungen entstehen können.

Die Ionisationsvorgänge in einer Glimmröhre verlaufen zwar sehr schnell. Es ist aber zu bedenken, daß im Gegensatz zu Vakuumröhren nicht nur die Elektronen am Leitungsmechanismus beteiligt sind, sondern auch die um ein vielfaches schwereren und trägeren Ionen. Deshalb kann man Gasentladungsröhren nicht bis zu beliebig hohen Frequenzen einsetzen. Bei nicht besonders für hohe Frequenzen konstruierten Röhren liegt die obere mögliche Frequenzgrenze für viele schaltungstechnische Anwendungen nur bei wenigen Kilohertz. Das erklärt sich dadurch, daß beim Abschalten der Spannung eine gewisse kurze Zeit vergeht, bis die vorhandenen Ionen mit den freien Elektronen rekombiniert haben. Erst dann herrscht wieder der Anfangszustand mit den dafür gültigen Werten für Zündspannung usw.

Wird vor erfolgter Rekombination die Spannung angelegt, so zündet die Röhre unter Umständen weit unterhalb der Zündspannung bereits wieder. Ebenso vergeht beim An-



Bild 1.7.
Ältere Spannungsstabilisatorröhre

legen der Zündspannung eine kurze Zeit, bis es zur Bildung der Ionenlawine und zum Einsetzen des Stromflusses kommt. Bei sehr kurzen angelegten Spannungsimpulsen zündet die Röhre deshalb unter Umständen selbst dann nicht, wenn die Spannung weit oberhalb der Zündspannung liegt. Diese Trägheit bestimmt für viele Schaltungszwecke die obere Frequenzgrenze.

[3] Glimmlampe

2. Anwendungen der Glimmröhre

2.1. Stabilisierung von Gleichspannungen

Für viele funktechnische Zwecke werden Gleichspannungen in konstant bleibender Höhe benötigt, die sich auch bei Belastungs- oder Speisespannungsänderung (Netzspannungsschwankungen!) nicht merklich ändern dürfen. Dafür sind besonders ausgebildete „Glimmstabilisatorröhren" üblich. Ein solcher Stabilisator ist im Prinzip nichts weiter als eine Glimmröhre, meist mit Neon oder neonhaltigen Gasgemischen gefüllt. In Abschnitt 1.2. und bei Bild 1.3. und 1.4. wurde die stabilisierende Wirkung bereits erläutert. Bevor näher auf die Anwendung des Stabilisators eingegangen wird, soll kurz der Unterschied zwischen dem Aufbau eines Stabilisators und dem einer gewöhnlichen Universalglimmlampe erklärt werden.
Der Stabilisator wird gekennzeichnet durch den Wert seiner Brennspannung (Ub in Bild 1.4.). Diese soll über einen großen Bereich der Stromänderung Ib möglichst konstant sein, Ugl im entsprechenden Kurvenabschnitt also nahezu waagerecht verlaufen. Erreicht wird das durch entsprechende Konstruktion und Präparation der Elektroden und der Gasfüllung. Da auf die Gas-Ionisation – und damit in geringen Grenzen auch auf die Brennspannung – auch äußere Einflüsse (Licht, HF-Strahlung usw.) einwirken, werden Stabilisatoren oft lichtdicht abgedeckt (ihr Katodenlicht ist dann im Betrieb ebenfalls nicht oder kaum sichtbar) und gelegentlich äußerlich abgeschirmt.
Je nach Stabilisatortyp sind verschiedene, zum Teil sehr hohe Brennströme Ib (bis etwa 0,1 A) vorgesehen, weshalb die Katode meist wesentlich großflächiger ausgeführt ist als die Anode. Das bedingt die Einhaltung der (vom Hersteller vorgeschriebenen) richtigen Polung. Bei Falschpolung verschlechtert sich sehr die Stabilisierung, außer-

dem kann der Stabilisator dabei durch Überlastung der Anode zerstört werden, die ja nicht für den Ionenaufprall vorgesehen ist.

2.1.1. Die einfache Stabilisierung

Bild 2.1. zeigt die Schaltung der einfachen Spannungsstabilisierung mit Stabilisator St. Sie entspricht weitgehend dem Prinzip (Bild 1.3.).

Die Betriebsspannung U_B muß zunächst einmal größer sein als die Stabilisatorzündspannung Uz; dann kann der Stabilisator zünden.

Nunmehr fließt durch den Stabilisator dessen Brennstrom, der als Querstrom Iq bezeichnet ist. Rv sorgt zunächst für Strombegrenzung, an St steht dann die – der Stabilisatorbrennspannung entsprechende – stabilisierte Spannung Ust zur Verfügung. Sie dient als Speisespannung für den zu betreibenden Verbraucher, der als Widerstand R_L dargestellt ist. Dieser Lastwiderstand kann in der Praxis ein Gerät oder eine Gerätebaugruppe sein.

Zu unterscheiden sind zwei Fälle: die Stabilisierung gegen Spannungsschwankungen an R_L bei Änderung dieser Last, d. h. bei schwankender Stromaufnahme von R_L, und die Stabilisierung gegen Speisespannungsschwankungen von U_B. In der Praxis treten häufig beide Fälle zugleich auf.

Der Stabilisator ist seinem Typ nach gekennzeichnet durch die Brennspannung Ust; der Typ wird also gemäß der für R_L erforderlichen Spannung ausgewählt bzw. R_L an den für Ust vom Hersteller angegebenen Wert angeglichen. Ust liegt bei üblichen modernen Stabilisatoren gewöhnlich zwischen 60 bis 150 V. Die bei den Bildern 1.3. und 1.4. erläu-

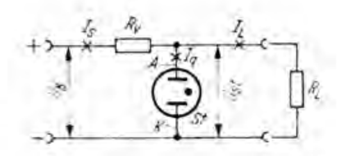


Bild 2.1.
Zur Dimensionierung des Gleichspannungsstabilisators

terten Zusammenhänge lassen unschwer erkennen, daß die Stabilisierung desto besser ist, je größer Rv, d. h. je größer somit auch der Spannungsabfall an Rv ist. Als Faustregel gilt, daß der Spannungsabfall an Rv möglichst gleich oder größer als Ust, $U_B \geqq 2 \cdot$ Ust, sein soll. Nur ausnahmsweise kann man für $U_B = 1{,}5 \cdots 2 \cdot$ Ust einsetzen. Im allgemeinen wird diese Bedingung schon zwangsläufig dadurch erfüllt, daß $Uz \geqq 2 \cdot$ Ust ist und U_B mindestens den Wert der Zündspannung Uz haben muß.

Wie ist nun Rv zu bemessen? Zunächst geht man davon aus, daß vom Hersteller für jeden Stabilisator ein maximaler Querstrom Iq_{max} und ein — zur Aufrechterhaltung ausreichender Stabilisierungswerte erforderlicher – minimaler Brennstrom Iq_{min} vorgeschrieben wird. Zwischen diesen beiden Grenzwerten darf sich der auftretende Wert für Iq bewegen. Betrachtet sei zunächst der Fall für gleichbleibende Last R_L, der Laststrom I_L ist daher konstant.

Der durch Rv fließende Strom Is setzt sich zusammen aus Iq und I_L. Die an Rv abfallende Spannung ergibt sich aus $U_B - Ust = U_{Rv}$.

Aus U_{Rv} und Is errechnet sich Rv nach dem Ohmschen Gesetz. Dabei setzt man für U_B den Normalwert (Sollwert) und für Iq einen Mittelwert zwischen Iq_{max} und Iq_{min} ein. Schwankungen von U_B wirken sich dann lediglich in Iq-Änderungen aus.

Schwankt die Laststromaufnahme I_L, so „übernimmt" der Stabilisator diese Laststromschwankungen. Wird I_L kleiner, so verringert sich auch Is und damit der Spannungsabfall an Rv, Ust beginnt zu steigen. Der Stabilisator reagiert darauf mit erhöhter Stromaufnahme, bis Is und U_{Rv} wieder die ursprünglichen Werte haben; Ust bleibt dabei nahezu konstant. Da Is annähernd konstanten Wert hat, steigt Iq also um den gleichen Betrag an, um den I_L abfiel und umgekehrt.

Damit man für diesen Fall Rv bestimmen kann, muß zunächst der minimale und maximale Laststrom I_L bekannt sein. Bei extremen Verhältnissen (Fortfall von R_L – Achtung, tritt bei Röhrengeräten oft während der Röhren-

anheizzeit und fehlendem Anodenstrom auf!) wird $I_L = 0$ und somit $Iq = Is$. Damit ist $Is = Iq_{max}$ bekannt, und über $U_B - Ust$ errechnet sich dann der Mindestwert für Rv. Der Höchstwert für Rv ergibt sich daraus, daß bei $I_L = I_{Lmax}$ – der höchsten auftretenden Stromentnahme für R_L – der minimale Brennstrom Iq_{min} nicht unterschritten werden darf. Is muß also mindestens gleich $Iq_{min} + I_{Lmax}$ sein, hieraus und aus $U_B - Ust$ resultiert der Höchstwert für Rv.

Zwischen dem gefundenen Mindest- und Höchstwert läßt sich Rv frei wählen. Dabei kann es vorkommen, daß nach dieser Rechnung der Mindestwert für Rv größer ist als der Höchstwert, eine Dimensionierung also unmöglich wird. Dann hilft nur ein stärkerer Stabilisator mit höherem Querstrom Iq_{max}, der für Rv entsprechend geringeren Mindestwert ermöglicht, oder es muß dafür gesorgt werden, daß der Laststrom I_L nicht zu weit absinkt, womit ebenfalls für Rv ein geringerer Wert möglich ist. Man wird also stets Kompromisse zwischen Stabilisator und Anforderungen an die Stabilisierung schließen müssen.

Wenn Rv nach dem vorstehend Gesagten festgelegt ist, muß man abschließend rechnerisch kontrollieren, ob auch im ungünstigsten Fall die Stabilisatorgrenzdaten nicht unter- bzw. überschritten werden:

Iq_{max} ergibt sich bei U_{Bmax} und I_{Lmin}, d. h., wenn die maximal zu erwartende „Überspannung" bei U_B mit dem minimal zu erwartenden Laststrom I_L zusammentrifft. Iq_{min} ergibt sich für minimal zu erwartenden Wert von U_B und maximalen Laststrom. Notfalls muß – insbesondere, wenn bei schwankender Last mit erheblicher Änderung von U_B zu rechnen ist – der für Rv gefundene Wert korrigiert und unter Umständen ein stärkerer Stabilisator benutzt werden. Schließlich muß man noch kontrollieren, ob bei den für U_{Bmin}, Rv und R_L gefundenen Werten (wobei man R_L aus Ust und I_L errechnen kann) eine Zündung des Stabilisators gewährleistet ist. Rv und R_L bilden im Einschaltmoment einen Spannungsteiler, wobei $Iq = 0$ ist und die Stabilisatorzündspannung an R_L abfällt. Auf Grund von

$I_q = 0$ ergibt sie sich in diesem Fall $U_Z = I_S \cdot R_L$. Nur wenn I_L im Einschaltmoment den Wert 0 hat, ist also $U_Z = U_B$! Das kann ebenfalls zu geringerem Wert für R_V oder – wenn dabei der nach obigem errechnete Mindestwert für R_V schon unterschritten wird – zu höherem Wert für $I_{q\,max}$ zwingen; eventuell ist eine Dimensionierung der Schaltung ganz unmöglich.
Diese Überlegungen zeigen u. a., daß es für einen bestimmten Stabilisatortyp nicht „den" richtigen Wert für R_V gibt; R_V muß also von Fall zu Fall verschieden bemessen werden. Die erforderliche Belastbarkeit von R_V wird nach dessen endgültiger Wertfestlegung nach $P = I_S^2 \cdot R_V$ bestimmt. Es empfiehlt sich, bei der praktisch ausgeführten Schaltung I_q und U_{st} durch Messung zu kontrollieren und eventuell R_V als Abgleichwiderstand vorzusehen, so daß der Sollwert von I_q eingestellt werden kann.
Nähere Einzelheiten zu diesen Berechnungen, zu den Kennlinien von Stabilisatoren sowie zu den wichtigsten Kenndaten moderner Stabilisatoren der DDR-Produktion sind in Heft 46 dieser Reihe (O. Morgenroth, *Funktechnische Bauelemente*, Teil III) zu finden. An dieser Stelle muß jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die gelegentlich in Amateurveröffentlichungen angegebene *Parallelschaltung* mehrerer Stabilisatoren zur Erhöhung des Querstroms $I_{q\,max}$ *nicht zulässig ist*, auch dann nicht, wenn es sich um Stabilisatoren gleichen Typs und gleicher Brennspannung handelt! Selbst wenn durch besondere Maßnahmen für sichere Zündung aller Stabilisatoren gesorgt wird, käme es durch die unvermeidlichen kleinen Brennspannungsdifferenzen der Stabilisatoren (durch Herstellungstoleranzen und Alterung bedingt) zur Übernahme des nahezu gesamten Stromes I_q auf einen der Stabilisatoren. Der Stabilisator mit der geringsten Brennspannung würde – da wegen der Parallelschaltung U_{st} für alle Stabilisatoren gleich ist – einen höheren Strom aufnehmen, sein Innenwiderstand sinkt weiter ab, was weiter erhöhte Stromaufnahme bewirkt usw. Dieser Stabilisator führt fast den gesamten Querstrom, sofern die übrigen Stabilisatoren

nicht sogar gänzlich verlöschen, und wird demzufolge überlastet! Parallelschaltung mehrerer Stabilisatoren als Ersatz für einen Stabilisator mit größerem Querstrom ist daher nicht möglich. Reicht Iq_{max} des stärksten greifbaren Stabilisators noch nicht aus, so kann man nur R_L aufteilen (mehrere getrennte Stromkreise) und jeden dieser Kreise mit eigener Stabilisierungsschaltung gemäß Bild 2.1. versorgen.

2.1.2. Die Mehrstreckenstabilisierung

Die Größe der Stabilisierung (Glättung von Spannungsschwankungen) hängt ab vom Stabilisatorinnenwiderstand (dynamischer Innenwiderstand, vgl. S. 20) und der Größe von Rv. Sie steigt mit Rv und mit fallendem dynamischem Innenwiderstand des Stabilisators.
Aus den im vorigen Abschnitt genannten Gründen kann man Rv nicht beliebig groß wählen, während der Stabilisatorinnenwiderstand vorgegeben und nicht beeinflußbar ist. Reicht die so erzielbare Größe der Stabilisierung nicht aus, dann kann zweifach stabilisiert werden, indem man zwei Stabilisierungsschaltungen in Serie legt.
Bild 2.2. zeigt diese Anordnung. Erforderlich ist dafür ein gegenüber der einfachen Stabilisierung vergleichsweise höherer Wert der Betriebsspannung U_B. Die Berechnung erfolgt ebenso wie bei der einfachen Stabilisierung in zwei Stufen. Zunächst wird die zweite Stufe mit St 2, Rv 2 berechnet, wobei $I_L 2$ der Laststrom (R_L in Bild 2.1. und Abschnitt 2.1.1.) und Ust 2 die Lastspeisespannung ist. Dabei

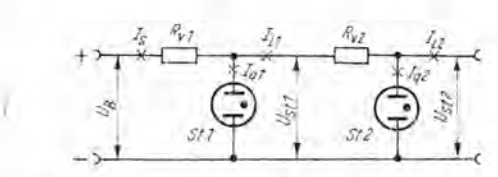


Bild 2.2 Zweistufenstabilisierung

setzt man für U_B dieser Stufe (gemäß Bild 2.1.) Ust 1 ein. Daraus ergibt sich, daß die Brennspannung des ersten Stabilisators St 1 mindestens den 1,5- bis 2fachen Wert der des zweiten Stabilisators haben muß. Man benutzt für St 1 entweder einen anderen Typ als für St 2 oder schaltet bei St 1 zwei Stabilisatoren vom gleichen (auch für St 2 benutzten) Typ nach den unter 2.1.3. gegebenen Hinweisen in Serie. Nach Berechnung der zweiten Stufe ist I_L 1 bekannt (entspricht Is in Bild 2.1.), und nunmehr kann die erste Stufe ebenso wie nach Bild 2.1. berechnet werden (I_L 1 in Bild 2.2. = I_L in Bild 2.1.). Die stabilisierende Wirkung der einzelnen Stufen multipliziert sich in diesem Fall, so daß bei Ust 2 eine gegenüber U_B-Schwankungen sehr konstante Spannung zur Verfügung steht.

Ebenfalls als Mehrstreckenstabilisierung wird in älterer Literatur die Anwendung von Stabilisatoren mit mehreren Elektroden bezeichnet. Bild 2.3. zeigt die Schaltung eines solchen Stabilisators (Typenbezeichnungen StR 280/40, StR 280/80 u. ä.), der keine Mehrstreckenstabilisierung im Sinne eines besseren Stabilisierungsfaktors aufweist – hier verhält er sich etwa wie eine einfache Stabilisatorstrecke –, sondern eher als Glimmstreckenspannungsteiler aufzufassen ist. Vorhanden seien zunächst nur die Elektroden „280 V" und „O", die Verhältnisse entsprechen dann Bild 2.1. Längs der Entladungsstrecke, die aus topfförmig ineinandergeschachtelten Elektroden gebildet wird, erfolgt nun eine „Spannungsteilung", d. h. Aufteilung der Gesamtbrennspannung auf vier gleiche Brennspannungen (im Beispiel je 70 V). Es handelt sich dabei also um eine Serienschaltung von vier 70-V-Stabilisatoren, die durch geeignete Ausbildung der Elektroden „ineinandergesteckt" und

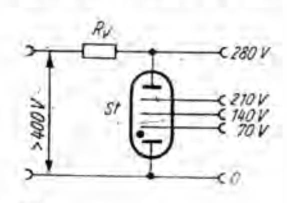


Bild 2.3.
Stabilisatorröhre mit mehreren Glimmstrecken

in einem gemeinsamen Glasgefäß untergebracht sind. Dabei wirken die mittleren Elektroden jeweils auf der einen Seite als Katode, auf der anderen zugleich als Anode. Diese Bauform wird nicht mehr hergestellt und ist als veraltet anzusehen. Das gleiche Ergebnis kann durch Serienschaltung von vier (auch mehr oder weniger) Einzel-Stabilisatoren erreicht werden, wobei man bezüglich Anzahl und Spannung der Einzelstrecke noch mehr Variationsmöglichkeiten hat. Außerdem muß man bei Alterung einer Glimmstrecke nicht sämtliche Strecken auswechseln.
Die Schaltung nach Bild 1.4. wird demzufolge ähnlich berechnet wie die im folgenden Abschnitt gezeigten Einzelstreckenkombinationen. Werden entsprechend Bild 2.3. bei den Teilspannungen 70, 140 und/oder 210 V nennenswerte Ströme abgenommen, so verringert sich um ihren Betrag der zwischen dem Abgriff und 0 fließende Querstrom. Man muß dann für Iq_{min} den zwischen den Elektroden „70 V" und „0" fließenden Querstrom, für Iq_{max} jedoch den bei gleichen äußeren Betriebsbedingungen zwischen den Elektroden „280 V" und „210 V" fließenden Querstrom ansetzen. Ansonsten erfolgt die Berechnung, wie es unter 2.1.1. und bei Bild 2.1. erläutert wurde.

2.1.3. Die Kombination von Einzelstrecken

Wie unter 2.1.1. abschließend erläutert wurde, ist eine Parallelschaltung von Stabilisatoren zur Erhöhung des Querstroms nicht möglich. Dagegen kann die stabilisierte Spannung in einfacher Weise durch Serienschaltung von Einzelstrecken erhöht werden. Bild 2.4. zeigt das Prinzip. Rp bzw. Rz seien zunächst nicht vorhanden.
Die Reihenschaltung von St 1 und St 2 kann dann als eine einzige Glimmstrecke mit der Summe beider Brennspannungen aufgefaßt werden: $Ust = Ub\,1 + Ub\,2$. Die Stabilisatoren brauchen dabei nicht die gleiche Brennspannung zu haben. Falls sie gleichen Querstrom Iq_{max} bzw. Iq_{min} aufweisen, werden diese Werte (eines Stabilisators) als

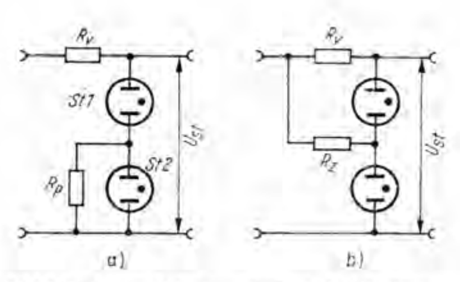


Bild 2.4. Serienschaltung von zwei Stabilisatoren;
a) Parallelschaltung eines Zündhilfswiderstands Rp,
b) Anschluß des Zündwiderstands Rz an die Betriebsspannung

Querstrom der Gesamtstrecke angesetzt. Die Berechnung erfolgt dann ebenso wie die der einfachen Stabilisierung (Abschnitt 2.1.1. und Bild 2.1.). Haben beide Stabilisatoren verschiedene Querstromgrenzwerte, so setzt man für Iq_{min} den höheren, für Iq_{max} dagegen den geringeren der beiden Iq-Werte ein. Daraus ergibt sich, daß es insbesondere bei schwankender Last von Vorteil ist, Stabilisatoren mit gleichen Querstromgrenzwerten zu verwenden.
Für die Gesamtbetriebsspannung U_B ergibt sich hierbei ebenfalls ein höherer notwendiger Wert. Nach dem unter 2.1.1. Gesagten soll U_B mindestens gleich 1,5 bis 2 · Ust sein. Außerdem addieren sich scheinbar auch die Zündspannungen, so daß $U_B \geqq Uz\,1 + Uz\,2$ sein müßte. Tatsächlich wäre aber auch dann nicht unbedingt eine sichere Zündung gewährleistet; denn im ungezündeten Zustand leitet keine der Röhren, so daß es auch an keiner von beiden zu einem definierten Zündpotential kommen würde. Es ist zwar mit ausreichend hoher Betriebsspannung U_B trotzdem eine Zündung möglich, da kapazitive Wirkungen der Elektroden, Nebenschlüsse an den Sockeln der Stabilisatoren und andere Faktoren doch die Zündung zunächst einer Röhre bewirken. Sobald diese gezündet hat, liegt fast die gesamte Spannung an der anderen Röhre, so daß diese sofort nachzündet. Es ist aber in jedem Falle sicherer, diese Zündung durch einen Hilfswiderstand zu bewirken. Er kann entweder einer der Röhren (St 1 oder

– entsprechend Bild 2.4.a – St 2) parallelgelegt werden. Dann zündet beim Einschalten zunächst St 1 (Bild 2.4.a), da über Rp an ihr die volle Betriebsspannung steht. Sobald sie gezündet hat, liegt über ihren geringen Innenwiderstand die Zündspannung an St 2, so daß auch dieser Stabilisator sofort zündet. Rp macht sich nach der Zündung nicht mehr bemerkbar. Da er keinen nennenswerten Strom führt, sondern nur die Zündspannung zuführen soll, kann er sehr hochohmig sein (Größenordnung 1 MΩ; Wert unkritisch). Eine andere mögliche Schaltung für den gleichen Zweck zeigt Bild 2.4.b. Beim Einschalten befindet sich der untere Stabilisator zunächst über den Zündhilfswiderstand Rz direkt an der Betriebsspannung, zündet also als erster, danach sofort der obere. Rz ist im Wert ebenfalls unkritisch und liegt meist bei 1 MΩ. Beide Varianten haben den Vorteil, daß die Betriebsspannung U_B jetzt nicht höher zu sein braucht, als es die Bedingung U_B – 1,5 bis 2 · Ust erfordert, da man für Uz nur den Wert des zuerst zündenden Stabilisators einsetzt, der hierbei ohnehin erreicht wird. Muß U_B sehr gering gehalten werden ($U_B \approx 1{,}5$ Ust) und wird bei angeschlossener Last eingeschaltet (vor Zündung Spannungsteilung zwischen Rv und Lastwiderstand), so ist die Variante (Bild 2.4.b) vorzuziehen, weil für den unteren Stabilisator trotzdem U_B in voller Höhe als Zündspannung wirkt. Bei Verwendung von zwei Stabilisatoren mit verschieden großer Zündspannung setzt man denjenigen mit der höheren Zündspannung als den zuerst gezündeten Stabilisator ein.
Grundsätzlich ist nach Bild 2.4. der Abgriff einer Teilspannung zwischen den Stabilisatoren möglich. Bezüglich der in die Rechnung dann einzusetzenden Querströme gilt sinngemäß das unter Abschnitt 2.1.2. und zu Bild 2.3. Gesagte.

2.1.4. Die Zündhilfselektrode beim Glimmstabilisator

Einige Stabilisatortypen haben außer Katode und Anode noch eine in Katodennähe angeordnete kleine Zündhilfs-

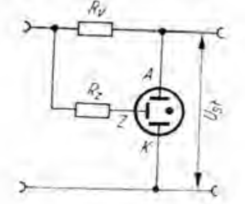


Bild 2.5.
Glimmstreckenstabilisator mit Zündhilfselektrode

elektrode Z (Bild 2.5.). Sie wird über einen Zündhilfswiderstand Rz – üblich sind Werte um 1 MΩ, soweit der Röhrenhersteller nichts anderes vorschreibt – direkt an die Betriebsspannung angeschlossen. Die Zündspannung der eigentlichen Stabilisatorglimmstrecke wird dadurch verringert.

Das hat folgenden Grund:

Wenn der Stabilisator bei am Ausgang Ust angeschlossener Last eingeschaltet wird, kommt es zunächst zur Spannungsteilung zwischen Rv und dem Lastwiderstand. Nur die am Lastwiderstand abfallende Spannung steht für die Zündung des Stabilisators (ohne Hilfselektrode) zur Verfügung und reicht dann oft nicht zur Zündung aus. Außerdem ist zu bedenken, daß vom Einschaltmoment bis zur Zündung bei Ust eine kurze Spannungsspitze im Wert der Zündspannung bis vollen Betriebsspannung (sofern die Last keinen Strom aufnimmt) auftritt, die sehr unerwünscht sein kann. Die Zündelektrode Z sitzt in Katodennähe und bildet mit dieser eine kleine Glimmstrecke (mit Z als Anode). Wegen ihrer geringen Glimmstreckenlänge ist ihre Zündspannung sowieso geringer, über Rz liegt sie außerdem an voller Betriebsspannung. Sie zündet daher relativ schnell und leicht, wobei Rz nach Zündung als Strombegrenzung wirkt. Der minimale über Z fließende Brennstrom setzt an der Katode K genügend Ionen frei, um dort sofort die Zündung der Hauptstrecke auszulösen. Durch die von der Zündelektrode Z ständig in Katodennähe erzeugten Ionen ist also der Zündvorgang weitgehend unabhängig von zufällig in der Gasfüllung vorhandenen freien Ionen. Das hat neben konstanter Zündspannung der Hauptentladungs-

strecke K-A auch noch den Vorteil, daß die Ionisation der Hauptstrecke nicht so leicht abreißt. Stabilisatoren mit Zündelektrode haben daher oft einen geringeren minimalen Querstrombedarf Iq_{min} als vergleichbare Typen ohne Zündelektrode.
Seitdem leicht radioaktive Substanzen als Ionisationshilfe bei modernen Stabilisatoren angewendet werden (sie haben die gleiche Aufgabe wie Zündelektroden, wirken aber im gesamten Entladungsraum), haben die Zündelektroden allerdings ihre Bedeutung verloren. Deshalb erhalten moderne Stabilisatoren nur noch in Sonderfällen Zündelektroden. Einen mit Zündelektrode versehenen Stabilisator kann man auch bei nicht angeschlossener Zündelektrode betreiben, er zündet dann jedoch oft schwer und neigt in Nähe des vorgeschriebenen Brennstrom-Minimums zu unkonstantem Verhalten und zum Verlöschen. Die Zündelektrode darf im allgemeinen nur mit sehr geringen Strömen (Größenordnung wenige Milliampere) belastet werden.

2.2. Signalanwendungen

2.2.1. Spannungskontrolle

Die Anwendung von Signalglimmlampen zur Kontrolle vorhandener Spannungen ist so allgemein bekannt, daß sie nicht näher erläutert wird. Signalglimmlampen für diesen Zweck gibt es in verschiedensten Ausführungen (Schraubgewinde E 10, E 14, E 27, Bajonett- oder Stecksockel, Sofittenform, zum Einlöten usw.). Sie sind für Gleich- und Wechselspannung brauchbar. Die für sie angegebene Betriebsspannung bezieht sich auf die Zündspannung, d. h., unterhalb der angegebenen Nennspannung ist sichere Zündung nicht mehr gewährleistet.
Bei gealterten oder lange Zeit nicht in Betrieb gewesenen Lampen kommt es gelegentlich vor, daß diese erst einige Sekunden oder sogar Minuten nach Anlegen der Span-

nung zünden, besonders wenn kein Außenlicht auftrifft (durch kurzes kräftiges Anleuchten kann man dann oft sofortige Zündung herbeiführen). Neben Erhöhung der Zündspannung durch Alterungsvorgänge, veränderte Elektrodenoberfläche, durch nicht restlos dichtes Gehäuse veränderter Innendruck, tiefe Temperatur u. ä. kann die Ursache auch das augenblickliche Fehlen der für die Zündung erforderlichen wenigen Ionen sein, so daß es nicht gleich zur Bildung der Ionenlawine kommt. Über die angegebene Nennspannung hinaus darf man Glimmlampen grundsätzlich dann benutzen, wenn durch entsprechend hohen Vorwiderstand dafür gesorgt wird, daß sie nicht strommäßig überlastet werden. Zur sicheren Zündung empfiehlt es sich sogar, dort, wo z. B. nur gelegentlich auftretende Netzspannungen zuverlässig angezeigt werden müssen, bei 220 V Netzspannung 110-V-Glimmlampen mit zusätzlich erhöhtem Vorwiderstand zu benutzen. Bei Signalglimmlampen mit Sockel, insbesondere mit Einschraubsockel, ist der – wie bei allen Gasentladungsstrecken auch in diesem Fall zur Strombegrenzung unerläßliche – Vorwiderstand häufig mit im Sockel untergebracht, wie Bild 2.6. schematisch darstellt. Solche Lampen dürfen unmittelbar an die Spannungsquelle – z. B. die Netzspannung – gelegt werden. Der Vorwiderstand ist oft bei schrägem Einblick in die Lampe im Sockel erkennbar. Da für viele Zwecke auch Glimmlampen ohne eingebauten Vorwiderstand gefertigt werden (der Amateur kann für eine ganze Reihe von Anwendungen sogar nur die Ausführungen ohne Widerstand verwenden, wie die folgenden Abschnitte mehrfach zeigen), muß man hier sorgfältig unterscheiden. Glimmlampen ohne Vorwiderstand sind zwar meist mit dem Zusatz „o. W." hinter der Spannungsangabe gekennzeichnet; hierauf

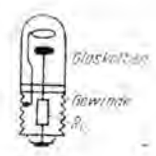


Bild 2.6.
Aufbau einer Signalglimmlampe mit im Sockel eingebautem Vorwiderstand Rv

sollte man sich aber nicht verlassen, sondern der Lampenfassung stets noch einen äußeren Vorwiderstand vorschalten (Wert je nach Lampengröße; Richtwert für normale Signalglimmlampen 100 bis 200 kΩ/½ bis ¼ W). Falls die Glimmlampe einen eingebauten Widerstand hat, wird durch den zusätzlichen Widerstand die Leuchtkraft eventuell gering geschwächt. Der zusätzliche Widerstand schützt aber gegen Fassungskurzschlüsse und Lampenschäden, wenn die Glimmlampe gegen eine Lampe ohne Widerstand ausgewechselt werden muß. Den Vorwiderstand bei Glimmlampen ohne eingebauten Widerstand ermittelt man durch Versuch; bei richtiger Dimensionierung soll gerade die gesamte Katodenfläche mit Glimmlicht bedeckt sein. Der Widerstand ist nicht allzu kritisch, die Signallampe darf im Betrieb warm, aber nicht ausgesprochen heiß werden. Für lange Betriebszeit (ständig leuchtende Lampen) empfiehlt es sich, die Lampe mit geringem Brennstrom zu betreiben, um vorzeitige Schwärzung des Glaskolbens durch Katodenzerstäubung zu vermeiden.
Signalglimmlampen mit ungleich großen Elektroden werden so gepolt, daß die größere Elektrode vom Glimmlicht bedeckt ist. Bei Wechselspannung soll der Widerstand nicht kleiner sein, als das gerade völlige Bedecken der kleineren Elektrode mit Glimmlicht erfordert. *Kurzzeitige* Überlastungen bis zum zweifachen Nennstrom (Nennspannung) und mehr vertragen Signalglimmlampen ohne weiteres.

2.2.2. Schalterkontrolle

Die Kontrolle von Schaltern auf ihren Schaltzustand mittels Glimmlampen läßt sich auf eine Spannungskontrolle zurückführen; sie ist demzufolge auch nur bei für die Glimmlampe ausreichend hoher Betriebsspannung möglich. Es gibt dafür zwei Schaltmöglichkeiten, wie Bild 2.7. zeigt. Als Verbraucher ist eine Glühlampe La angenommen, die mit dem zu kontrollierenden Schalter S geschaltet wird. Bei Bild 2.7. handelt es sich um eine Einschaltkontrolle des

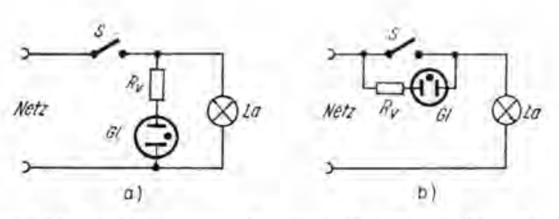
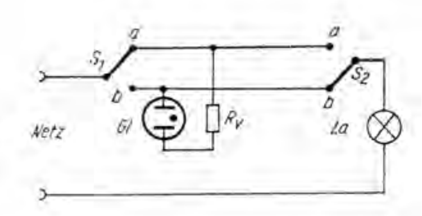


Bild 2.7. Schalterkontrolle; a) Parallelschaltung der Kontrollglimmlampe zum Verbraucher, b) Parallelschaltung zum Schalter

Verbrauchers, d. h., Glimmlampe Gl leuchtet stets zusammen mit La auf, wenn S geschlossen ist. In diesem Fall wird also der Betriebszustand des Verbrauchers signalisiert.
Umgekehrt wirkt die Variante nach Bild 2.7.; jetzt signalisiert Gl den Aus-Zustand des Schalters, dem sie parallelliegt. Ist S geschlossen und La in Betrieb, so befindet sich Gl in überbrücktem und erloschenem Zustand. Wird S geöffnet, so ist Gl über La – mit diesem Verbraucher liegt Gl in Serie – mit dem Netz verbunden und leuchtet auf. La verlöscht, da der geringe Strom von Gl (1 mA und weniger) auf La ohne Auswirkung bleibt. Diese Variante kann je nach Anwendung zwei Vorteile haben: Erstens wird eine Unterbrechung bei La angezeigt, weil Gl dann verlöscht (was nicht eindeutig ist; erloschene Gl bedeutet eventuell geschlossener Schalter S oder defekte La, jedoch kann ein hochohmiger Nebenschluß zu La, bei Wechselstromnetzen schon die normale Leitungskapazität, ein Aufleuchten von Gl auch bei unterbrochener La bewirken). Zweitens läßt sich Gl jetzt unmittelbar beim Schalter oder sogar in dessen Gehäuse montieren, ohne daß dazu eine zusätzliche Leitung (zweiter Pol von La) herangeführt werden muß. Das ist besonders bei nachträglicher Montage wertvoll. Die handelsüblichen kleinen Miniaturglimmlampen kann man zusammen mit einem 500-kΩ/0,1-W-Widerstand bequem in üblichen Lichtschaltergehäusen oder auch in Treppenlicht-Druckknöpfen (an denen bei erloschenem Treppenlicht ebenfalls über die Zeitschalterautomatik Netz-

Bild 2.8.
Schalterkontrolle durch Parallelschaltung zu den Schaltern bei Wechselschaltungsinstallation



spannung anliegt) unterbringen. Die Glimmlampe ist durch eine kleine Gehäusebohrung erkennbar, wodurch man den Schalter im Dunkeln leicht findet. Gerade zur Kennzeichnung von Lichtschaltern in dunklen Räumen eignet sich die Schaltung nach Bild 2.7. sehr gut; die Leuchtdruckknöpfe moderner Treppenhausbeleuchtungen arbeiten nach diesem Prinzip. Dem in Beleuchtungsinstallationen weniger bewanderten Funkamateur zeigt Bild 2.8. noch das Prinzip einer Wechselschaltung (Lampe La kann von S 1 oder S 2 aus in beliebiger Reihenfolge aus- und eingeschaltet werden, wobei die Schaltergriffstellung kein Ein/Aus-Kennzeichen mehr ist) und den Anschluß der Glimmlampe. Immer wenn S 1 und S 2 in „gleichnamiger" Stellung (a oder b) stehen, ist der Stromkreis für La über eine der „korrespondierenden" Adern a–b geschlossen: Im Aus-Zustand liegt zwischen a–b die Netzspannung (Prinzip wie Bild 2.7.b). Zwischen a und b wird daher die Glimmlampe geschaltet. Anschaltung zweier Glimmlampen – eine in jedem Schaltergehäuse – ist ebenfalls möglich. Die „richtigen" Adern a und b am Wechselschalter ermittelt man durch Versuch. Bei der auf drei und mehr Schalter erweiterten „Kreuzschaltung" gilt die gleiche Anschlußweise. Der dritte sowie die weiteren Schalter sitzen dann zwischen S 1 und S 2; sie vertauschen jeweils a und b gegeneinander.

2.2.3. Sicherungskontrolle

Auch in größeren Geräten oder Anlagen des Amateurs mit mehreren Sicherungen lohnt es sich, die Sicherungen stän-

[4] Glimmlampe

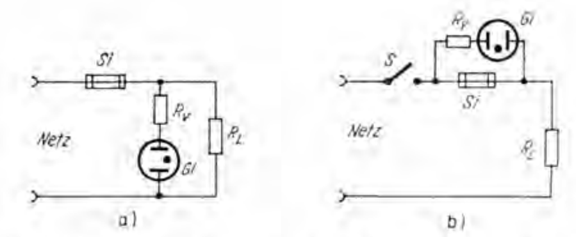


Bild 2.9. Sicherungskontrolle, a) durch Parallelschaltung der Kontrolllampe zum Verbraucher, b) durch Parallelschaltung zur Sicherung

dig zu kontrollieren und Sicherungsausfälle anzuzeigen, um Störungen schnell auffinden zu können.
Auch dafür gibt es wieder zwei Möglichkeiten (Bild 2.9.), die der Schalterkontrolle gemäß Abschnitt 2.2.2. entsprechen. Bild 2.9. stellt eine Betriebsspannungskontrolle dar, Gl zeigt die am Verbraucher R_L anliegende Spannung an. Sobald Si unterbrochen ist, verlöscht Gl. Diese Variante eignet sich vor allem dort, wo gleichzeitig der Betriebszustand des Verbrauchers kontrolliert werden soll, d. h. als Betriebsspannungsanzeige. Bild 2.9.b entspricht der Schalterkontrolle nach Bild 2.7.b. Gl ist normalerweise erloschen und leuchtet nur auf, sobald Sicherung Si unterbrochen wird. Während die Variante (Bild 2.9.a) bei Netzspannungsausfall keine Unterscheidung der Ursachen gestattet, kennzeichnet Variante (Bild 2.9.b) eindeutig einen Sicherungsdefekt und verlängert außerdem die Lebensdauer der Lampe. Der bei unterbrochener Sicherung über R_L fließende Glimmlampenstrom bleibt dort ohne jede Wirkung.

2.2.4. Der Polprüfstift

Der Glimmlampenpolprüfstift (Glimmlampenspannungsprüfer) sei nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Er enthält eine stabförmige Kleinstglimmlampe ohne eingebauten Widerstand, die sehr preiswert ist (unter 1,– MDN) und deren Zündspannung meist unter 100 V liegt.

Diese als Ersatzbedarf einzeln erhältliche Glimmlampenform stellt ein für sehr viele Amateurzwecke geradezu ideales Glimmlampenbauelement dar. Zusammen mit dem – auch hier erforderlichen – Vorwiderstand (Wert um 500 kΩ/¼ W) sowie einer Kontaktandruckfeder ist sie in ein stabförmiges Gehäuse eingesetzt. Das vordere Ende des Gehäuses weist ein als Tastspitze oder Schraubenzieherklinge ausgebildetes Kontaktstück auf. Am hinteren Ende befindet sich ein buchsenähnlicher Kontakt, der zur Auflage der Fingerspitze und meist auch zum Anschluß eines Bananensteckers dient. Elektrisch entspricht der Spannungsprüfer der Schaltung nach Bild 1.3. Die Glimmlampe – Bauform wie Bild 1.1. – hat stabförmige, durch Gehäuseöffnungen gut sichtbare Elektroden. Man kann den Prüfstift, mit einer Prüfschnur versehen, als Spannungsprüfer für Spannungen oberhalb der Zündspannung (also ab etwa 100 V) bis zu etwa 300 V, kurzzeitig auch für 400 bis 450 V benutzen. Die vom Amateur einzeln gut verwendbare Prüfstiftglimmlampe üblicher Größe hat einen maximal zulässigen Brennstrom von etwa 0,5 mA. Kurzzeitig (einige Sekunden) sind 1 bis 1,5 mA vertretbar, für Dauerbetrieb sollte man nicht über etwa 0,3 mA gehen. Da sich im Prüfstift beide Elektroden gut unterscheiden lassen, kann man leicht zwischen Gleich- und Wechselspannung (bei Wechselspannung leuchten beide Elektroden) sowie bei Gleichspannung zwischen Plus und Minus unterscheiden (die mit dem negativen Pol verbundene Elektrode leuchtet auf). Bei geringer Betriebsspannung beginnt die Leuchterscheinung an der Spitze der Elektroden und breitet sich mit zunehmender Spannung über deren ganze Länge aus, so daß man auch die Spannungshöhe grob abschätzen kann. Diese Glimmlampen zeigen auch bei sehr geringem Strom – sehr großem äußeren Vorwiderstand des Prüfstifts – merkliche Leuchterscheinungen; im Dunklen sind noch Brennströme in der Größenordnung um 10 μA erkennbar! Das ermöglicht die (selbstverständlich nur scheinbar) „einpolige" Anwendung des Prüfstifts. Bekanntlich ist in Starkstromnetzen – zumindest in modernen 220-V-Wechsel-

stromnetzen – ein Pol, der sogenannte Nulleiter, geerdet, der andere Pol (Außenleiter oder kurz „Phase" genannt) führt daher Netzspannung gegen Erde. Durch Auflegen des Fingers auf den hinteren Prüfstiftkontakt und Abtasten beider Netzpole kann man den Außenleiter sehr leicht ermitteln. In diesem Fall ist der Stromkreis für den Prüfstift über den menschlichen Körper und dessen Erdwiderstand geschlossen. Wegen der hohen Prüfstiftempfindlichkeit genügt dabei meist schon der hohe Erdübergangswiderstand von Teppichen, Holzböden u. ä., bei Wechselspannung allein schon die Erdkapazität des Körpers, um schwaches Glimmen hervorzurufen. Der geringe Stromfluß (0,1 mA und weniger, sofern der im Prüfstift eingesetzte Widerstand die vorgeschriebene Größe von mindestens 500 kΩ hat) bleibt ohne jede spürbare Wirkung.

Damit lassen sich bei Netzanschlüssen nicht nur Nulleiter und Phase bestimmen, sondern auch Geräte auf gefährlich hohe Berührungsspannungen (Körperschluß bei nichtgeerdeten Metallgehäusen) kontrollieren und bei Antasten des Außenleiters an der Stärke des Aufleuchtens auch die momentanen Erdungsverhältnisse des eigenen Körpers abschätzen.

2.2.5. Der Glimmlampendurchgangsprüfer

Der Glimmlampendurchgangsprüfer ist wohl das vielseitigste und zugleich einfachste Prüfmittel in der Amateurwerkstatt. Bild 2.10. zeigt eine dafür geeignete wenig aufwendige Schaltung. An P 1 und P 2 werden Prüfschnüre

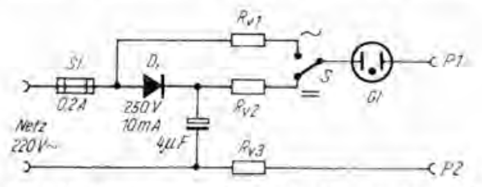


Bild 2.10. Einfacher Glimmlampendurchgangsprüfer für Gleich- und Wechselspannung

über Bananenstecker angeschlossen, mit denen das auf Durchgang zu prüfende Objekt angetastet wird (Halbleiter und andere Bauteile, deren Isolationen für weniger als etwa 200 V zugelassen sind, darf man damit selbstverständlich nicht prüfen!). Die Prüfung ist mit Gleich- und Wechselstrom möglich, mit Umschalter S wählt man die benötigte Stromart. Bei Wechselstrom wird die Netzspannung direkt benutzt. Der für die Glimmlampe Gl erforderliche Vorwiderstand wurde auf zwei gleich große Widerstände, Rv 1 und Rv 3, aufgeteilt, um eine direkte Verbindung der Prüfschnüre P 1 und P 2 mit dem Netz – die auf Grund der Spannung des Netzaußenleiters gegen Erde für den Benutzer lebensgefährlich werden könnte – zu vermeiden. Der über Rv 3 mögliche Stromfluß kann jedoch nur einen merkbaren „Schlag" ohne ernsthafte Schädigung – abgesehen von Schreckwirkungen – ergeben. Rv 1, Rv 2 und Rv 3 sind gleich groß und je nach benutzter Glimmlampengröße zu bemessen, dürfen jedoch nicht kleiner als 50 kΩ/0,5 W sein. Günstiger ist eine kleinere Glimmlampenausführung mit größeren Vorwiderstandswerten. Die Aufteilung des oberen Vorwiderstands in Rv 1 und Rv 2 stellt eine Sicherung gegen Kurzschlüsse bei Schalterstörungen oder Schaltern mit kurzzeitiger Kontaktgabe nach beiden Seiten – die sonst den Gleichrichter D überbrücken würde – dar. Für Gleichstromprüfungen wird die Netzwechselspannung mittels Gleichrichterdiode D gleichgerichtet und mit einem Elko geglättet. Dafür reichen 4 μF/350 V bereits aus; als Gleichrichter D genügt eine kleine Selenausführung für 250 V ~ und wenige Milliampere. Glimmlampe Gl ordnet man gut erkennbar, aber etwas vertieft an, so daß sie möglichst gegen Fremdlicht abgeschattet wird. Ein 110-V-Typ ist vorteilhafter, da er zuverlässiger zündet. Mit diesem Prüfgerät können Sicherungen, Lampen, Kabel usw. auf Durchgang kontrolliert werden. Ebenso lassen sich Kondensatoren (mit Gleichspannung auf Isolation, mit Wechselspannung auf Kapazität) und Widerstände prüfen. Dabei zeigt die Glimmlampe noch Widerstandswerte von mehreren Megaohm

durch schwaches Glimmen an, was aber bei schadhaften Widerständen Intaktheit vortäuschen kann! Näher auf diese in zahlreichen Büchern ausführlich beschriebenen Prüfungen einzugehen erübrigt sich.

2.2.6. Die Glimmlampe als NF-Pegelanzeiger

Zur Anzeige von NF-Spannungen ab etwa 20 V ~ kann man Glimmlampen verwenden. Diese Art der „Pegelanzeige" wurde u. a. in älteren Magnetbandgeräten häufig als Übersteuerungsanzeige benutzt. Sie kommt beim Amateur außer für den gleichen Zweck (Anzeige der Aufsprechspannung) auch für die Anzeige der NF-Modulation bei Endstufen, Modulatoren u. ä. in Betracht. Bild 2.11. zeigt die Schaltung. Die zu kontrollierende NF-Spannung wird beispielsweise von der Anode der Endröhre abgegriffen und über Kondensator C (der die Anodengleichspannung abriegelt) und den Vorwiderstand Rv der Glimmlampe zugeführt. Für Gl kann man vorteilhaft eine Stabglimmlampe (Prüfstiftglimmlampe) für 110 V verwenden. Normalerweise würde Gl erst aufleuchten, wenn die NF-Spannung den Wert der Zündspannung erreicht. Um geringere Spannungen anzeigen zu können, erhält Gl von der Anodenspannung her eine über P einstellbare Vorspannung. Mit P wird die Vorspannung so eingeregelt, daß sie knapp unter der Löschspannung liegt. Praktisch geschieht das so, daß man P bei fehlender NF-Spannung aufdreht, bis Gl aufleuchtet, und dann wieder zurückdreht, bis Gl gerade verlischt. Die NF-Spannung hat nun

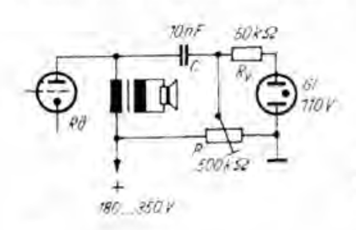


Bild 2.11.
NF-Spannungspegelanzeige durch Glimmlampe mit Vorspannung

lediglich den Differenzwert zwischen Zünd- und Löschspannung für Gl aufzubringen – bei den erwähnten 110-V-Stiftglimmlampen beträgt diese Differenz meist etwa 20 bis 25 V je nach Exemplar. Zur Anzeige möglichst geringer NF-Spannungen benötigt man also Exemplare mit geringer Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung. Soll die NF-Spannung erst ab einem bestimmten höheren Wert angezeigt werden (Übersteuerungsanzeige), so wird die Vorspannung mit P so weit verringert, daß Gl erst beim gewünschten NF-Pegel aufleuchtet. Je nach NF-Pegel kann man Rv auf 100 bis 300 kΩ erhöhen. Das Prinzip, der Glimmlampe eine Vorspannung zu geben, läßt sich überall dort anwenden, wo Spannungen angezeigt werden sollen, die geringer sind als die Zündspannung, jedoch größer als die Differenz Uz – Ul der vorhandenen Glimmlampe.

2.3. Glimmlampenkippschaltungen

Unter Glimmlampenkippschaltungen (Kippgeneratoren) werden solche Anwendungen verstanden, die selbständig periodische Schwingungen erzeugen, wobei der nach Zündung fallende Innenwiderstand der Gasentladungsröhre ausgenutzt wird. Danach lassen sich Kippgeneratoren auch mit speziellen Gasentladungsröhren (Thyratrons, vgl. Abschnitt 3.2.3.) aufbauen. Die Kippgeneratoren können als Impulsgenerator, u. a. für einfache Oszillografenablenkschaltungen, als Tongenerator und als Glimmlichtblinkschaltungen angewendet werden. Da der Kippvorgang auf dem periodischen Zünden und Verlöschen der Gasentladung beruht, sind die erreichbaren Frequenzen auf den NF-Bereich, mit speziell dafür geschaffenen Röhren wenig darüber, begrenzt. Normale Signalglimmlampen versagen oftmals schon oberhalb weniger Kilohertz. Die folgenden Abschnitte geben Anwendungsbeispiele für Glimmlampenkippschaltungen.

2.3.1. Die blinkende Kontrollampe

Bild 2.12.a zeigt das Grundprinzip des Glimmröhrenkippgenerators. Beim Anlegen der Gleichspannung U = (die größer sein muß als die Zündspannung der Glimmröhre Gl) wird zunächst über R der Kondensator C aufgeladen. Die Spannung an C steigt allmählich, und Gl zündet erst dann, wenn die Spannung an C den Wert der Zündspannung erreicht hat. Nach der Zündung hat Gl einen sehr geringen Innenwiderstand, wodurch sich C sehr schnell entlädt, und zwar soweit, bis der Wert der Löschspannung von Gl unterschritten wird. In diesem Moment verlöscht Gl, und C lädt sich über R erneut auf, bis die Zündspannung wieder erreicht ist. Danach beginnt der Vorgang von vorn. An C schwankt die Spannung daher ständig zwischen den – durch Gl vorgegebenen – Werten für Uz und Ul. Jeweils bei Entladung des Kondensators blinkt Gl auf. Man kann deshalb diese Schaltung dazu benutzen, Gl periodisch blinken zu lassen. Für Gl eignet sich eine normale Signalglimmlampe ohne eingebauten Vorwiderstand für 110 V. Mit der in Bild 2.12.a angeführten Dimensionierung ergibt sich je nach Größe von C ein Blinkrhythmus von 20 bis 150 Blinkimpulsen je Minute. Da die Entladung von C über Gl weit schneller erfolgt als die Aufladung von C über R, blitzt die Lampe nach den relativ langen Dunkelpausen stets nur kurz auf. Die Lampe darf deshalb nicht den üblichen Vorwiderstand haben, weil C sonst nicht schnell genug entladen wird und die über R erfolgende gleichzeitige Nachladung ein Absinken der Spannung unter

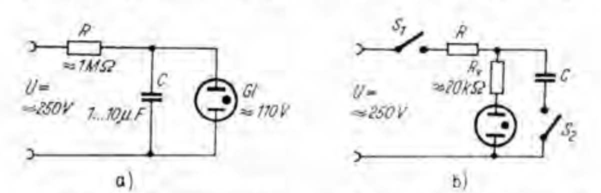


Bild 2.12. Kontrollampenblinkschaltung: a) einfache Blinkschaltung, b) Kontrolle zweier Schalter durch Blink- oder Dauerlicht

den Löschspannungswert verhindert. Gl würde deshalb bei Verwendung einer Signalglimmlampe mit im Sockel eingebautem Vorwiderstand ständig leuchten.
Anwendung dieser Blinkschaltung u. a. für Spannungskontrollen, wobei die blinkende Lampe auffälliger ist als eine ständig leuchtende. Für Schalterkontrollen kann die Lampe eine Doppelfunktion erhalten, wie Bild 2.12. zeigt. Wird zunächst nur S 1 geschlossen, so leuchtet Gl über R und Rv ständig. Schließt man jetzt zusätzlich S 2, so entsteht durch Anschalten von C die Blinkschaltung nach Bild 2.12.a, die Lampe beginnt zu blinken. Rv verlängert dabei die Leuchtzeit der Glimmlampe etwas (langsamere Entladung von C) und wird gegebenenfalls nach Versuch bemessen. Der Vorwiderstand Rv muß jedoch wesentlich kleiner als R sein, da sonst kein Blinken mehr zustande kommt (vgl. vorigen Absatz). R und C werden ähnlich Bild 2.12.a bemessen. Schalter S 1 kann z. B. der Netzschalter des zu kontrollierenden Geräts sein, S 2 läßt sich mit einem zweiten zu kontrollierenden Schalter koppeln.
Eine interessante Kombination zweier Blinklampen zeigt Bild 2.13. Gl 1 und Gl 2 leuchten abwechselnd auf. Angenommen sei, daß beim Anlegen der Spannung U = zunächst Gl 1 zündet. Über ihren geringen Innenwiderstand liegt C der Gl 2 parallel, wird über R 2 aufgeladen und nach Zündung von Gl 2 über Gl 2 und Gl 1 entladen. Der Entladestromstoß ist dem durch Gl 1 fließenden Brennstrom entgegengesetzt gerichtet und hebt diesen auf, wobei Gl 1 verlöscht. Nunmehr brennt Gl 2, und C wird über R 1 und Gl 2 mit umgekehrter Polung aufgeladen (C darf deshalb kein Elko sein!), bis Gl 1 wieder zündet und Gl 2 verlöscht. Damit ist wieder der Anfangszustand erreicht. Zeitbestimmend für die Blinkperiode sind C und R 1 bzw.

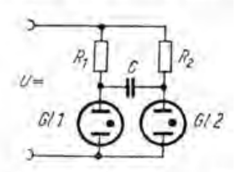


Bild 2.13.
Glimmlampenwechselblinkschaltung

R 2, wobei beide Widerstände – erhalten sie unterschiedliche Werte – für Gl 1 und Gl 2 verschieden lange Leuchtzeit ergeben. Dimensionierung für R 1 und R 2 etwa 100 kΩ bis 1 MΩ, C etwa 1 bis 5 μF, Gl 1, Gl 2 für 110 V, U= etwa 200 bis 300 V.

2.3.2. Der Glimmkipptongenerator

Bild 2.14. zeigt die Prinzipschaltung eines Tongenerators mit Glimmröhre. Das Funktionsprinzip entspricht dem der Blinkschaltung nach Bild 2.12., nur wird jetzt C so

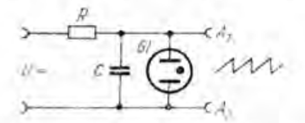


Bild 2.14.
Zur Wirkungsweise des Glimmlampentongenerators

klein ausgelegt, daß die Glimmlampe einige hundert- bis tausendmal je Sekunde aufblinkt (sie scheint dabei ständig zu leuchten). An C und Gl steigt die Spannung entsprechend dem Ladevorgang langsam an, um bei Entladung über Gl schnell abzufallen. Parallel zu Gl kann man an den Ausgangsbuchsen A 1 A 2 eine Spannung entnehmen, die demzufolge einen sägezahnförmigen Verlauf aufweist, wie in Bild 2.14. angegeben. Ihre Amplitude entspricht der Differenz von Zünd- und Löschspannung der Glimmröhre, ihre Frequenz ist außer durch die Glimmlampenwerte und die Speisespannung U= (höhere Speisespannung ergibt schnellere Aufladung von C und damit höhere Frequenz) vorwiegend durch C und R gegeben. Da Auf- und Entladung eines Kondensators nach einer Exponentialfunktion verlaufen, sind die Sägezahnflanken nicht streng linear. Die Frequenz dieses Kippgenerators kann man errechnen nach der Näherungsgleichung

$$f \approx \frac{2}{R \cdot C \cdot \ln \cdot \frac{U_B - U_l}{U_B - U_z}};$$

f = Kippfrequenz in Hertz, U_B = Betriebsspannung in Volt (≙ U = in Bild 2.14.), Ul = Löschspannung in Volt, Uz = Zündspannung der Glimmröhre in Volt, R in Megaohm C in Mikrofarad. Zünd- und Löschspannung müssen also bekannt sein (vgl. Abschnitt 4.). Diese Näherungsformel wird oberhalb einiger Kilohertz mit steigender Frequenz zunehmend ungenau, weil dann der Einfluß der Ionisations- und Rekombinationszeit der Glimmröhrengasfüllung nicht mehr zu vernachlässigen ist. Sie sind auch die Ursache für das Versagen des Generators bei zu hoher Frequenzwahl. Nicht besonders für diesen Zweck konstruierte Glimmröhren, wie etwa die kleinen Prüfstiftsignalglimmlampen für 110 V (die sich für derartige Kippschaltungen bis zu einigen Kilohertz vorzüglich eignen), wird man bei hohen Frequenzen also von Exemplar zu Exemplar erproben müssen. Der Amateur findet im übrigen bei derartigen Kippschaltungen die gewünschte Frequenz durch Erproben von C (für Grobfestlegung der Frequenz) und R (für Feineinstellung) meist schneller als durch Berechnung.
Bei der Anwendung dieser Kippschaltung als Tonfrequenzgenerator sind einige Hinweise zu beachten. Zunächst empfiehlt es sich, die Glimmröhre lichtgeschützt zu montieren (lichtdichten Ölschlauch überziehen und Stabglimmlampe fest in die Schaltung einlöten), da Lichteinwirkung den Ionisationsvorgang und damit die Zündspannung und über diese die Frequenz und Ausgangsspannung verändern kann. Einzelne Exemplare sind unterschiedlich empfindlich. Ferner haben Glimmkippgeneratoren meist keine große Frequenzstabilität. Neben Betriebsspannungsänderungen, die nach dem Gesagten unmittelbar in die Frequenz eingehen (jedoch nicht in die Ausgangsspannung), sind es auch äußere, schwer zu unterbindende Einflüsse, wie HF-Strahlungsfelder und Einfluß der kosmischen Höhenstrahlung, die die Frequenz geringfügig ändern können. Sie bewirken insbesondere einen zeitlich unkonstanten Einsatz der Zündung, d. h., sobald die Spannung an C nahezu gleich Uz ist, kann je nach zufällig vorhandener Vor-Ionisation in der Röhre die Zündung ein klein wenig

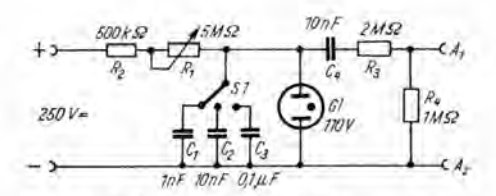


Bild 2.15. Einfacher Glimmlampenprüftongenerator

früher oder später erfolgen. Für hochkonstante Tongeneratoren und für Impulsgeneratoren, bei denen es auf zeitlich genauen Einsatz der Einzelimpulse ankommt, sind solche Kippgeneratoren, sofern sie nicht synchronisiert werden (vgl. Abschnitt 2.3.3.), demzufolge nicht geeignet. Sie bewähren sich aber wegen ihrer Einfachheit gut als Prüfton- oder Signaltongeber, bei denen es nicht auf Tonqualität und genaue Frequenz ankommt. In diesem Fall ist nur zu beachten, daß die Ausgangsspannung bei A 1/A 2 hochohmig abgenommen, d. h. nicht merklich belastet werden darf. Eine größere Ohmsche Belastung des Ausgangs würde durch Spannungsteilung zwischen R und Ausgangslast den Aufladevorgang von C beeinflussen; kapazitive Last addiert sich zu C und beeinflußt die Frequenz.

Bild 2.15. zeigt ein dimensioniertes Beispiel für einen einfachen Prüftongenerator nach diesem Prinzip. Er wird mit einer Gleichspannung von etwa 250 V betrieben. Für Gl findet eine 110-V-Prüfstiftglimmlampe Verwendung, die gegen Fremdlicht geschützt und fest eingelötet wird. Mit S 1 ist die Frequenz durch Einschaltung verschieden großer Kondensatoren C 1 ··· 3 in mehreren Grobstufen wählbar, mit R 1 innerhalb dieser Grobstufen fein regelbar. Parallel zu Gl wird die Ausgangsspannung über C 4 (der eine unzulässige Verringerung der Ladespannung für C 1 ··· 3 durch die Ausgangsbelastung verhindert) und einen Spannungsteiler R 3/R 4 abgenommen. R 3 hält dabei die Rückwirkung verschieden großer Ausgangsbelastungen in annehmbaren Grenzen. Der Ausgang ist hochohmig. R 2 dient als Endanschlagbegrenzung für R 1, um Überlastung von

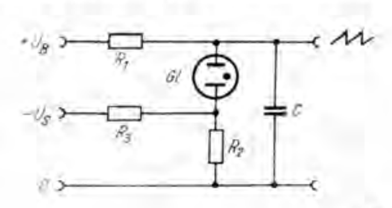
Gl zu vermeiden. Mit der angegebenen Dimensionierung lassen sich Frequenzen von einigen zehn Hertz bis zu einigen Kilohertz erzeugen, wobei die höchste erreichbare Frequenz (mit C 1) vom Glimmlampen-Exemplar abhängt. Geeignete Exemplare ermöglichen 5 bis 8 kHz und mehr.

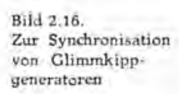
2.3.3. Synchronisation von Glimmkippgeneratoren

Wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert, ist der nicht synchronisierte („freilaufende") Glimmkippgenerator wenig frequenzstabil. Er läßt sich jedoch leicht mit einer von außen zugeführten Frequenz synchronisieren. Bild 2.16. zeigt das Prinzip. R 1 und C bilden zusammen mit Gl die bereits bekannte Kippschaltung. R 2 ist wesentlich kleiner als R 1; verlängert deshalb nur die Entladedauer von C geringfügig, ohne die prinzipielle Wirkungsweise zu beeinflussen. Über R 3 wird nun die Synchronisationsspannung Us mit negativer Polarität zugeführt.

Die Synchronisation kommt folgendermaßen zustande:

Über R 1 sei C bis unmittelbar unter die Zündspannung Uz aufgeladen. Wird in diesem Moment über R 3 eine geringe Spannung mit negativer Polarität zugeführt, so addiert sich diese zu der an Gl stehenden Spannung, d. h., an Gl tritt dann der Spannungswert Uc + Us (Uc = Momentanspannung an C) auf. Dieser Betrag ist > Uz, falls C bereits so weit aufgeladen war, daß die Zündung ohne Einfluß von Us unmittelbar bevorstand. Gl wird also nun sofort zünden – die Zündung wurde durch Us erzwungen. Praktisch wählt man die Frequenz des „freilaufenden" Generators durch geeignetes Bemessen von R 1 und C etwas




Bild 2.16.
Zur Synchronisation von Glimmkippgeneratoren

geringer als die Synchronisationsfrequenz ($f_{frei} \approx 0{,}9 \cdots 0{,}95 \cdot f_{synchr}$). Die negative Halbwelle der bei Us angelegten Synchronfrequenz löst nun jeweils die Zündung aus – der Kippgenerator wird von der Synchronfrequenz „mitgenommen" und hat dann genau deren Frequenz. Durch geeignetes Bemessen der Freilauffrequenz und der Synchronspannungshöhe kann man den Kippgenerator auch auf ganzzahlige Bruchteile der Synchronfrequenz synchronisieren. Jetzt löst erst jede zweite (dritte usw.) negative Halbwelle von Us die Zündung aus, weil C erst dann weit genug aufgeladen ist, um zusammen mit Us die Zündspannung zu überschreiten. Durch geeignetes Bemessen von R 3 sorgt man in diesem Fall dafür, daß Us an Gl nicht zu groß wird, weil sonst anstatt z. B. jede dritte bereits jede zweite Synchronhalbwelle die Zündung auslöst und der Generator dann nicht auf ein Drittel, sondern z. B. auf die Hälfte der Synchronfrequenz synchronisiert würde. R 3 kann in der praktischen Ausführung auch ein Kondensator sein, während man R 2 oft durch eine Diode ersetzt, um den unerwünschten Einfluß auf die Entladedauer von C zu vermeiden. Ein Beispiel dafür zeigt der folgende Abschnitt.

2.3.3.1. Glimmlampenfrequenzteiler

Die Möglichkeit, Glimmlampenkippgeneratoren zu synchronisieren, kann man zum Aufbau einfacher Frequenz-

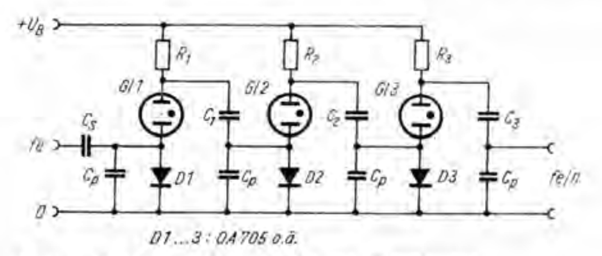


Bild 2.17. Dreistufiger Frequenzteiler mit Glimmlampen

teilerschaltungen ausnutzen. Diese Frequenzteiler werden besonders in der modernen Elektronik, der Zähl-, Rechen- und Impulstechnik benötigt. Bild 2.17. zeigt einen dreistufigen Frequenzteiler nach dem Prinzip der Schaltung in Bild 2.16., der sich durch weitere Stufen beliebig erweitern läßt.

Bei fe wird die zu teilende Eingangsfrequenz zugeführt. Gl 1 bildet mit R 1 und C 1/Cp eine normale Kippschaltung. Ihre Kippfrequenz wird durch R 1 und die resultierende Kapazität aus der Serienschaltung C 1/Cp festgelegt, wobei Cp um ein mehrfaches größer als der – deshalb vorwiegend die Frequenz bestimmende – Kondensator C 1 ist. Diode D 1 kann in diesem Fall als nicht vorhanden bzw. als kurzgeschlossen angesehen werden, da bei Aufladung von C 1/Cp kein Strom durch Gl 1 fließt und während der Entladung D 1 in Durchlaßrichtung gepolt ist (ihr geringer Durchlaßwiderstand darf für den Entladevorgang vernachlässigt werden). Diese erste Kippgeneratorstufe wird so dimensioniert, daß ihre Freilauffrequenz (Eingang fe offen) etwa dem 0,9fachen der Teilerfrequenz dieser Stufe entspricht. Die Teilerfrequenz kann die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel oder ausnahmsweise ein Fünftel von fe sein (höhere Teilerverhältnisse als 1 : 5 sind praktisch schwierig realisierbar, da die Stufe dann leicht auf das nächsthöhere oder niedrigere Teilerverhältnis „umspringt", also instabil arbeitet). Wird bei fe jetzt die zu teilende Frequenz fe angelegt, so synchronisiert sie die erste Stufe mit Gl 1 – entsprechend dem im vorigen Abschnitt Gesagten – auf das vorgesehene Teilerverhältnis 1 : n. Die erste Kippstufe arbeitet nun genau mit einem ganzzahligen Bruchteil der Frequenz fe. Cs und Cp im Eingang dienen zur (kapazitiven) Spannungsteilung von fe, um die richtige Synchronspannungshöhe festzulegen, entsprechend den Ausführungen bei Bild 2.16. zu R 2 und R 3. Die Serienschaltung C 1/Cp wird nun mit der Frequenz fe/n periodisch aufgeladen (ein Teil der Ladespannung fällt mit positiver Polarität an Cp ab; da D 2 in diesem Fall in Durchlaßrichtung gepolt ist, wird Cp für den Aufladevor-

gang nicht wirksam, und C 1 bestimmt fast ausschließlich die Frequenz der Stufe mit Gl 1) sowie nach Zündung von Gl 1 entladen. Der Entladestrom von C 1 tritt jedoch mit negativer Polarität auf, D 2 sperrt also. Ein dem Verhältnis C 1/Cp entsprechender Spannungsimpuls erscheint mit negativer Polarität am unteren Pol von Gl 2 und dient als Synchronimpuls für diese Stufe. Gl 2 wird ebenso wie Gl 1 mit R 2 und C 2/Cp auf einen ganzzahligen Bruchteil der Frequenz der vorhergehenden Stufe eingestellt. Der Entladevorgang von C 1 bewirkt daher zugleich Zündung von Gl 2, wenn sich C 2 ausreichend weit aufgeladen hat, was je nach eingestelltem Teilerverhältnis bei jeder 2. bis 5. Periode erfolgt ist. Gl 2 wurde deshalb mit einem Bruchteil der Kippfrequenz der ersten Stufe starr synchronisiert. Über C 2 und D 3 synchronisiert sie ihrerseits die 3. Stufe mit Gl 3, die wiederum mit R 3 und C 3/Cp auf einen Bruchteil der vorangehenden Kippstufenfrequenz eingestellt ist; die Teilerfaktoren der Einzelstufen multiplizieren sich somit. Sind z. B. Gl 1 und Gl 2 auf je 1 : 5 eingestellt, Gl 3 auf 1 : 4, so erscheint die Eingangsfrequenz fe um das Verhältnis $1 : 5 \cdot 5 \cdot 4 = 1 : 100$ am Ausgang. Beträgt fe = 100 Hz, so ergibt sich für die Ausgangsfrequenz 1 Hz, d. h., es wird je Sekunde ein kurzer, der Entladung von C 3 entsprechender Spannungsimpuls abgegeben (die Ausgangsfrequenz ist also nicht sinus-, sondern nadelimpulsförmig).

Man dimensioniert eine solche Schaltung (für die man als Glimmröhren kleine Stabilisatoren, notfalls für Amateurzwecke auch die preiswerten Prüfstift-110-V-Glimmlampen verwenden kann; als Diode eignet sich die OA 705 o. ä. Typ ausreichender Sperrspannung) zunächst genauso – für jede Stufe einzeln – wie eine freilaufende Kippschaltung (Bild 2.14.). Die Verbindung von Punkt C 1 ··· /Cp zur Diode der nachfolgenden Stufe wird unterbrochen sowie nach Grobfestlegung von C 1 und Cp die Freilauffrequenz (fe abgetrennt) mit R 1 auf das etwa 0,9fache der vorgesehenen Teilerfrequenz eingestellt. Das Verhältnis C 1 ··· n Cp (Cp > C 1 ··· n!) wählt man etwas größer

oder mindestens gleich dem Teilverhältnis der folgenden Stufe, um den richtigen Betrag ihrer Synchronfrequenz zu erreichen (falls die folgende Stufe später auf falsches Teilerverhältnis synchronisiert, korrigiert man Cp). Nach Herstellen der Verbindungen zwischen den Einzelstufen erscheint (bei fehlender Eingangsfrequenz fe) am Ausgang die Frequenz $\approx 0{,}9\,fe/n$, wenn alle Stufen richtig arbeiten. Nun wird fe angelegt und je nach ihrer (konstant zu haltenden!) Größe Cs so bemessen, daß am Ausgang die Frequenz $1 \cdot fe/n$ auftritt. Die Betriebsspannung U_B sollte man stabilisieren (Abschnitt 2.1.). Es empfiehlt sich, je Stufe nicht mehr als etwa 1 : 5 zu unterteilen, mit geringerem Teilerverhältnis (bei eventuell größerer Stufenzahl) steigt die Stabilität der Anordnung. Bei verschiedenen Teilerverhältnissen ordnet man den ersten Stufen die größten Teilerverhältnisse zu, da die letzten Stufen – deren Frequenz geringer ist – um so unstabiler arbeiten, je niedriger ihre Frequenz wird. Der Grund dafür ist, daß Kriechströme, Isolationsfehler an den – oft schon recht großen – Kapazitäten (C 3 entsprechend Bild 2.17.) und Widerständen (R 3) sowie zufällige Zündeinsatzänderungen der Glimmröhren (Ionisationsanstoß durch äußere Einflüsse!) mit sinkender Frequenz die Schaltungsfunktion immer stärker beeinflussen. Bezüglich der höchsten teilbaren Frequenz ist die obere Grenzfrequenz der Glimmröhre in der ersten Teilerstufe maßgebend. Dieser Frequenzteiler eignet sich daher für den NF-Bereich. Ein dimensioniertes Anwendungsbeispiel für eine elektronische Demonstrationsuhr, bei der als „Zeitnormal" die Netzfrequenz 50 Hz benutzt wird, ist in Band 53 dieser Reihe, Goedecke, *Elektronisches Rechnen für den Amateur*, eingehend beschrieben. Im *„Großen Elektronikbastelbuch"* des Verfassers findet man als Beispiel einen gleichartig aufgebauten Sekundentaktgeber mit genauer Dimensionierung. Weitere Anwendungsmöglichkeiten solcher Frequenzteilerschaltungen sind z. B. Harmonischenerzeugung für Klangsynthesen bei der elektronischen Klangerzeugung („elektronische Musik").

2.3.4. Der Sägezahngenerator

Wie in den Abschnitten 2.3.1. und 2.3.2. bereits erläutert, ist der Kippgenerator von vornherein ein Sägezahnerzeuger (Bild 2.14.). Mit dem Kippgenerator lassen sich daher unter bestimmten Voraussetzungen gut Sägezahnimpulse z. B. für oszillografische Untersuchungen oder die Zeitablenkspannung für Oszillografen erzeugen.
Bild 2.18. zeigt nochmals das Prinzip: Die angegebenen Dimensionierungen lassen erkennen, worauf es dabei ankommt. Die Frequenz bestimmt man durch C und R. C wird nach einer Exponentialfunktion aufgeladen, der Sägezahnanstieg ist daher besonders gegen Ende der Aufladung keineswegs linear, sondern verläuft zunehmend flacher. Im ersten Teil der Ladekurve ist jedoch eine für viele Zwecke bereits ausreichende Linearität des Spannungsanstiegs an C gegeben. Beim speziellen Sägezahngenerator muß man deshalb dafür sorgen, daß nur dieser anfängliche Teil der Ladekurve ausgenutzt wird. Das läßt sich erreichen, indem man mit sehr hoher Ladespannung und möglichst geringer Glimmlampenzündspannung arbeitet. Die Betriebsspannung soll mindestens den 3- bis 5fachen Wert der Zündspannung haben; je höher sie über der Zündspannung liegt, desto linearer verläuft der an C abnehmbare Sägezahn-Spannungsanstieg. Aus dem gleichen Grund ist es günstig, Glimmröhren mit möglichst geringer Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung zu verwenden, so daß die Spannungsänderung an C sich über einen möglichst kurzen Bereich im Anfangsgebiet der Aufladekennlinie bewegt. Die Sägezahnrückflanke soll meist möglichst steil abfallen, was durch möglichst schnelle Entladung von C erreicht wird. Das bedingt einmal geringe

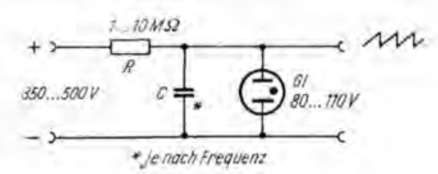


Bild 2.18.
Zur Funktionsweise des Glimmlampen-Sägezahngenerators

Kapazität für C, zum anderen geringen Innenwiderstand der gezündeten Glimmstrecke. Deshalb benutzt man für Gl geeignete Exemplare und legt die erforderliche Frequenz durch Wahl eines möglichst kleinen C-Werts bei entsprechend großem R-Wert fest. (Falls nicht für Kippschaltungen speziell konstruierte Gasentladungsröhren zur Verfügung stehen, verwendet der Amateur Stabilisatorglimmröhren oder auch Signalglimmlampen mit großflächigen Elektroden und geringstmöglicher Zündspannung.) Die Merkmale eines auf gute Linearität des Sägezahns dimensionierten Kippgenerators sind also: sehr hohe Betriebsspannung, niedrige Zündspannung, geringe Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung und geringer Innenwiderstand von Gl, kleine Kapazität C, großer Widerstand R.

Um besonders gute Linearität zu erreichen, kann man auch C mit konstant gehaltenem Strom laden. Der Exponentialverlauf des Spannungsanstiegs an C kommt dadurch zustande, daß mit steigender Spannung an C die Differenz zwischen Kondensator- und Betriebsspannung immer geringer wird. Diese Differenz tritt an R auf und ist maßgebend für den durch R fließenden Ladestrom, der sich also ebenfalls immer mehr verringert. Verkleinert man R nun automatisch laufend um den gleichen Betrag, um den die an R stehende Spannung zurückgeht, so bleibt der Ladestrom konstant, und die Aufladung von C erfolgt zeitlich linear. Das erreicht man, indem an Stelle von R eine „Laderöhre" als veränderlicher Widerstand eingesetzt wird. Die Schaltung dieser Röhre ermöglicht es, daß der durch sie fließende Strom unabhängig von der an ihr liegenden Spannung konstant bleibt. Man erreicht dann sehr gute Sägezahnlinearität, ohne an besonders hohe Betriebsspannungen gebunden zu sein. Der Aufwand für diese „Ladung mit konstantem Strom" (oft auch als „nachlaufende Ladespannung" bezeichnet) rechtfertigt jedoch die Anwendung beim Amateur nicht mehr. Der Aufwand für einen aus der Oszillografentechnik bekannten Sägezahngenerator mit Röhre (*Transitron-Miller*-Schaltung z. B.) ist bei Verzicht

auf die Glimmlampe auch kaum größer, jedoch hat der Röhren-Sägezahngenerator einige wesentliche Vorteile (u. a. höhere Ausgangsspannung, höhere Kippfrequenz). Auf derartige Glimmkippschaltungen wird daher nicht eingegangen.

2.3.5. Der Nadelimpulsgenerator

Für viele impulstechnische und oszillografische Zwecke werden Nadelimpulse (das sind möglichst kurzzeitig auftretende Spannungsspitzen) benötigt. Sie lassen sich aus einer Glimmkippschaltung nach Bild 2.19. leicht ableiten. R 1, C und Gl bilden die bereits bekannte Kippschaltung mit R 1 und C als frequenzbestimmenden Bauteilen. Die Entladung von C erfolgt jetzt über Gl und R 2. An R 2 fällt daher jeweils im Entlademoment ein kuzer Spannungsimpuls ab, der parallel zu R 2 abgegriffen werden kann. Bei Verwendung von Kleinglimmlampen (z. B. die mehrfach erwähnte 110-V-Prüfstiftglimmlampe) legt man R 2 meist mit 5 bis 25 kΩ fest. Solange R 2 wesentlich größer ist als der Innenwiderstand der Glimmlampe, wird die Entladedauer von C im wesentlichen von R 2 bestimmt. R 2 legt daher die Nadelimpulsbreite (Zeitdauer des Impulses) fest. Da R 2 im allgemeinen wesentlich kleiner als R 1 ist, hat er auf die Frequenz nur wenig Einfluß. Die Impulsamplitude (Ausgangsspannung) ist weitgehend unabhängig von der Größe R 2 und entspricht näherungsweise der Differenz zwischen Zünd- und *Brenn*spannung der Glimmlampe. Da Kurzschluß von R 2 ohne Wirkung auf die Kippfunktion bleibt, kann der Ausgang niederohmiger abgeschlossen werden als vergleichsweise der

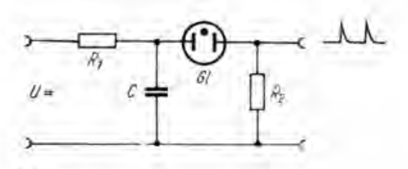


Bild 2.19. Nadelimpulsgenerator mit Glimmlampe

Ausgang entsprechend Bild 2.14. Die Schaltung nach Bild 2.19. eignet sich daher u. a. auch als Tongenerator mit direkt anschließbarem Kopfhörer.

2.4. Die Glimmstrecke als Überspannungsschutz

2.4.1. Überspannungsschutz an Antennen

Die Glimmlampe kann im ungezündeten Zustand als nichtleitend angesehen werden und hat dann auch nur relativ geringe Kapazität der Anschlüsse gegeneinander (besonders bei Sofittenbauformen).

Nach Bild 2.20. lassen sich Hochantennen – zusätzlich zur üblichen Blitzschutzeinrichtung mit Erdschalter! – gegen Überspannungen sichern. Die meisten Empfängerdefekte entstehen nicht, weil der Blitz direkt in die Antenne einschlägt, sondern bei nahen Blitzeinschlägen durch in der Antenne induzierte Überspannungen. Diese werden, sobald sie die – für den Empfängereingang noch harmlose – Zündspannung von Gl überschreiten, durch die gezündete Gl kurzgeschlossen. Die in der Empfänger-Antennenzuleitung liegende Drossel unterstützt diese Wirkung, da sie die – als Impulse sehr hoher Frequenz bzw. Flankensteilheit auftretenden – Blitzüberspannungen weitgehend sperrt. Diese Drossel stellt man aus normalem Schaltdraht her (etwa 20 Wdg. über einen Bleistift wickeln und etwas auseinanderziehen, am Schalter freitragend anklemmen). Für Gl eignen sich besonders die billigen kleinen 110-V-Prüfstiftglimmlampen, die ohne Vorwiderstand sein müs-

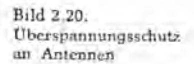
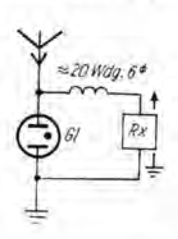


Bild 2.20.
Überspannungsschutz an Antennen



sen. Bei stärkeren Überspannungen kann Gl durch die – hier vorgesehene – Überlastung unbrauchbar werden; man ersetzt dieses billige Bauelement (das ähnlich wie eine Radiosicherung im Klemmhalter am Antennenschalter befestigt wird) dann einfach durch ein neues.

2.4.2. Überspannungsschutz an Stationsempfänger-Eingängen

Der Funkamateur steht oft vor der Notwendigkeit, den Eingang seines Stationsempfängers gegen vom Stationssender kommende HF-Spannung zu sichern, insbesondere, wenn Sender und Empfänger über Antennenrelais o. ä. Umschaltvorrichtungen an derselben Antenne betrieben werden. Dabei leistet eine Glimmlampe als Eingangsspannungsbegrenzer gute Dienste. Sie wird nach Bild 2.21.

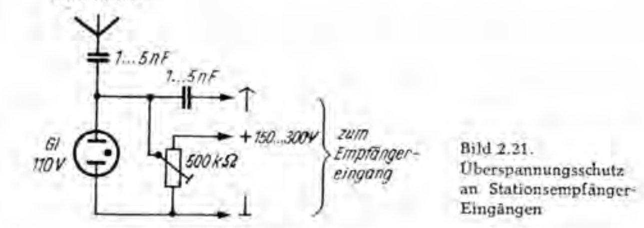


Bild 2.21. Überspannungsschutz an Stationsempfänger-Eingängen

zwischen Antenne und Empfängereingang geschaltet (die ganze Anordnung bringt man direkt im Empfänger in der Nähe des Antennenanschlusses unter). Gl erhält eine Vorspannung entsprechend Abschnitt 2.2.6. Das Potentiometer wird so eingestellt, daß die zunächst gezündete Glimmlampe gerade eben verlöscht. Bereits bei HF-Spannungen um 20 V zündet Gl und schließt den Eingang hochfrequenzmäßig kurz, so daß ernsthafte Empfängerschäden zuverlässig vermieden werden. Die Kondensatoren verhindern das Abfließen der Vorspannung.

2.4.3. Überspannungsschutz bei NF-Endstufen

NF-Endstufen mit Ausgangsübertragern, Modulatorstufen u. ä. dürfen bekanntlich nicht ohne Ausgangsbelastung betrieben werden, da sonst die NF-Spannung eventuell Werte erreicht, die Endröhre und Ausgangstransformator beschädigen können. Dieser Fall kann z. B. bei getrennt angeordnetem Lautsprecher und Leitungsunterbrechung leicht eintreten. Damit keine Beschädigungen entstehen, wird eine Glimmlampe parallel zur Primärwicklung des Ausgangsübertragers (ohne Vorwiderstand!) geschaltet. Beim Auftreten gefährlich hoher Überspannungen schließt sie den Transformator kurz (Bild 2.22.). Die bei normalen Heim-

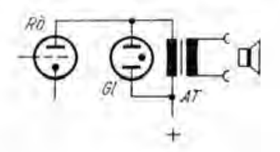


Bild 2.22.
Überspannungsschutz in NF-Endstufen

Endstufen mit einigen Watt Ausgangsleistungen auftretenden NF-Spannungen liegen gewöhnlich unterhalb der Zündspannung üblicher Glimmlampen. Je nach Ausgangsleistung und Transformator-Impedanz eignen sich 110-V- oder 220-V-Typen für Gl.

2.5. Die Glimmstrecke als Schalter

2.5.1. Die einfache NF-Torschaltung

Die Tatsache, daß Glimmlampen im ungezündeten Zustand einen unendlich hohen, im gezündeten Zustand einen relativ geringen dynamischen Widerstand haben, erlaubt ihre Anwendung als gesteuerter Schalter („Tor") in NF-Leitungen. Bild 2.23. zeigt das Prinzip. Am Eingang E liegt die zu schaltende NF-Spannung. U = ist die Steuerspannung für das Glimmlampen-„Tor" Gl. Ist Schalter S geschlossen,

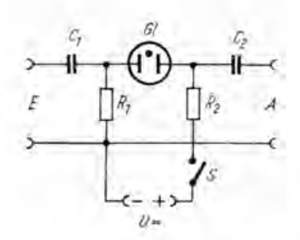


Bild 2.23.
Einfache Glimmlampentorschaltung

so hat Gl über ihre Vorwiderstände R 1 und R 2 gezündet. C 1 und C 2 riegeln die Steuerspannung gegen Ein- und Ausgang ab. Die NF-Spannung kann jetzt über C 1, Gl und C 2 zum Ausgang gelangen. Bei entsprechend eingestelltem Arbeitspunkt für Gl (auf geringsten dynamischen Innenwiderstand – Einzelheiten dazu werden im nächsten Abschnitt erläutert) wirkt sich der Innenwiderstand von Gl bei entsprechend hochohmigem Ausgangsabschluß kaum aus, die NF-Spannung wird also nicht merklich geschwächt. Gl kann man an günstigster Stelle im Leitungszug anordnen. Da Schalter S nur Gleichstrom führt, sind seine Zuleitungen unkritisch; er läßt sich an bedienungstechnisch günstiger Stelle anordnen.

Diese scheinbar bestechend einfache und günstige Anordnung hat allerdings erhebliche Nachteile, die ihre Anwendung häufig ausschließen. Zunächst bestehen bei der Anordnung nach Bild 2.23. oft Dimensionierungsschwierigkeiten. Gl muß geringen Innenwiderstand aufweisen; geeignet sind also z. B. Stabilisatorglimmröhren und ähnliche Ausführungen, die aber meist großflächige Katoden und entsprechenden Brennstrombedarf haben. Der Brennstrom wird durch R 1 und R 2 bestimmt (im allgemeinen R 1 = R 2), U = ist meist vorgegeben (verfügbare Anodenspannungen u. ä.) und läßt sich nicht beliebig erhöhen. Für R 1 und R 2 ergeben sich dadurch obere Grenzwerte, die selten über etwa 50 kΩ liegen (als Rv für Gl wird R 1 + R 2 wirksam!). Bei der NF-Spannung befinden sich aber R 1 und (über Gl und die Steuerspannungsquelle) R 2 parallel im Übertragungsweg; in diesem Fall tritt also ein Wert

von $\approx \frac{R\,1}{2}$ als zusätzliche Belastung für die NF auf, und zwar hinter C 1. C 1 und R 1/R 2 bilden ein RC-Glied, für das mit Rücksicht auf ausreichende untere Grenzfrequenz und den angegebenen Wert von R 1/R 2 relativ hohe Werte für C 1 auftreten (0,1 μF und mehr). Eingang E wird demzufolge mit einer für Röhrengeräte unangenehm niedrigen Impedanz ($\approx$ 20 kΩ und weniger) belastet. Es ist jedoch weit unangenehmer, daß C 1 über E – wenn diese Quelle galvanische Verbindung nach Minuspol U = (Masse) hat – und ebenso C 2 über A zusammen mit R 1, R 2 und Gl eine Kippschaltung bilden können. Deshalb kann es also gerade bei den notwendigen relativ hohen C-Werten leicht zur Ausbildung von Kippschwingungen kommen, wodurch eine NF-Übertragung völlig unmöglich ist. Selbst wenn sich das vermeiden läßt, entstehen an Ein- und Ausgang durch die bei Ein- und Ausschalten von S wechselnden Gleichspannungspotentiale starke Schaltspannungsstöße, die z. B. die dem Ausgang nachfolgenden Verstärkerstufen übersteuern und vorübergehend „zustopfen" können. Des weiteren bringt Gl durch die in ihr ablaufenden Ionisationsvorgänge ein – je nach Exemplar und Typ stark unterschiedliches, zum Teil erhebliches – Rauschen ein, so daß sich das Tor nicht für sehr kleine NF-Pegel (je nach Anforderungen an Rauschabstand etwa ab 0,1 V) eignet. Nach oben hin ist der NF-Pegel durch die Überlagerung von NF-Strom und Brennstrom (bzw. von NF-Spannung und dem an R 1/R 2 entstehenden Spannungsabfall) begrenzt. Diese Änderungen dürfen nicht so stark werden, daß sich Arbeitspunkt und Innenwiderstand der Glimmröhre merklich ändern; die Folge wären nichtlineare Verzerrungen. Aus diesen Gründen läßt sich die einfache Torschaltung nach Bild 2.23. nur in Sonderfällen anwenden. Sie wird beispielsweise in der elektronischen Fernsprechvermittlungstechnik angewendet, bei der eine sehr große Zahl solcher Tore auf geringem Raum erforderlich ist, die untere Grenzfrequenz aber relativ hoch liegt (etwa 300 Hz) – womit C 1, C 2 unkritischer werden – und man

an Rauschabstand sowie Verzerrungsfreiheit nur geringe Anforderungen stellt. Diese Gesichtspunkte zeigen gleichzeitig etwa die Anwendungsmöglichkeiten für den Amateur. Der Amateur kann für Gl eventuell eine einfache Signalglimmlampe benutzen, wenn der Brennstrom mit R 1, R 2 und U = auf optimalen Arbeitspunkt eingestellt wird. Näheres dazu im folgenden Abschnitt.

2.5.2. Arbeitspunkt und dynamischer Widerstand bei Glimmlampentorschaltungen

Aus der prinzipiellen Funktion der Gasentladung (Abschnitte 1.1. und 1.2.) geht hervor, daß der Innenwiderstand der Glimmlampe keine konstante Größe ist, sondern vom Brennstrom abhängt. Geringe Änderungen der Brennspannung rufen erhebliche Brennstromänderung hervor – umgekehrt ergeben beträchtliche Brennstromänderungen nur geringe Brennspannungsänderung. Letzteres wird bei der Glimmröhrenstabilisation (Abschnitt 2.1.) ausgenutzt. Bei Stabilisatoren soll sich über einen weiten Bereich der Brennstromänderung (innerhalb der Grenzen Iq_{min} und Iq_{max}; vgl. Abschnitt 2.1.1.) die Brennspannung nur wenig ändern, d. h., der aus der Brennstromänderung Δ Iq und der dabei auftretenden Brennspannungsänderung Δ Ust berechenbare „dynamische Innenwiderstand" muß möglichst klein sein. Er tritt bei der Torschaltung (Bild 2.23.) als Längswiderstand in Erscheinung.
Nicht für Stabilisationszwecke bestimmte Glimmröhren zeigen zwar prinzipiell gleiches Verhalten, weisen aber merklich größere Brennspannungsänderungen bei schwankendem Brennstrom, d. h. erheblich höheren dynamischen Innenwiderstand auf; sein Wert ist außerdem meist vom gewählten mittleren Brennstrom stark abhängig. Deshalb soll dieser Zusammenhang am Beispiel einer nicht für Stabilisationszwecke bestimmten Röhrchensignalglimmlampe (Prüfstiftglimmlampe) erläutert werden (Bild 2.24.). Die Kennlinie dieser Glimmlampe wurde mit der in Bild 2.24. angegebenen Meßschaltung für ein zufällig vor-

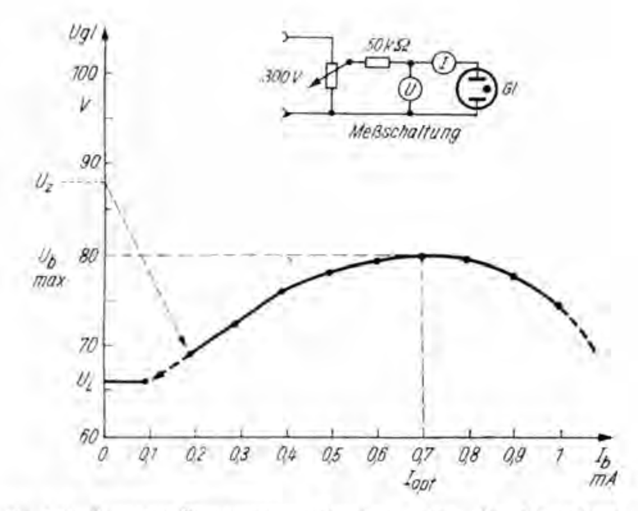


Bild 2.24. Brennstrom/Brennspannungs-Kennlinie einer Signalglimmlampe und Meßschaltung dafür

handenes Einzelexemplar ermittelt. I zeigt den Brennstrom der Glimmlampe Gl an, U die zugleich auftretende Brennspannung. Der 50-kΩ-Widerstand ist der zur Strombegrenzung erforderliche Vorwiderstand. Der Brennstrom wird mittels Potentiometer variiert. Die untersuchte Glimmlampe war für einen normalen Brennstrom von 0,5 mA bestimmt und wurde bei der Kurvenaufnahme kurzzeitig bis 1 mA belastet. Die Zündspannung Uz dieses Exemplars betrug 88 V, die Löschspannung Ul hatte einen Wert von 67 V.

Zunächst wird die Spannung von Null an bis Uz gesteigert. Erst jetzt beginnt der Stromfluß, wobei durch Spannungsabfall am 50-kΩ-Widerstand sich die Brennspannung zu etwa 69 V bei einem Brennstrom von 0,2 mA einstellte. Durch langsame Steigerung der Betriebsspannung und punktweise Kurvenaufnahme von Spannung U und zugehörigem Strom I ergab sich die Kurve in Bild 2.24. Wie ersichtlich ist, steigt sie bis etwa 80 V zunehmend flacher

an, um dann wieder zu fallen; oberhalb etwa 0,7 mA beginnt also das Gebiet des „negativen Widerstands", der im Abschnitt 1. schon erläutert wurde. Die Kurve würde bei über 1 mA gesteigertem Brennstrom weiter fallen (praktisch läßt sich das auf Grund der zunehmenden Katodenüberlastung nicht durchführen), bis die Glimmentladung in eine Lichtbogenentladung überginge und die Elektroden zerstörte (Verdampfung). Bei verringertem Brennstrom (bis 0,2 mA) ergibt sich die gleiche Kurve, die jetzt bis zum Wert der Löschspannung (hier 67 V, Brennstrom dabei 0,1 mA) „durchfahren" werden kann – danach verlöscht die Röhre, der Strom wird Null.

Der dynamische Innenwiderstand Ri errechnet sich nach dem Gesagten zu $Ri = \frac{\Delta Ugl}{\Delta Ib}$, er ist demzufolge dort am geringsten, wo die Kurve am flachsten verläuft, und im Wendepunkt der Kurve theoretisch gleich Null. Im vorliegenden Fall tritt der geringste Ri bei einer Brennspannung um 80 V und einem Strom von 0,7 mA – also bei einem für diesen Typ bereits unzulässig hohen Strom – auf. Dieser für geringsten Ri einzustellende „optimale Brennstrom" ist in Bild 2.24. als I_{opt} bezeichnet. Er wäre für dieses Glimmlampen-Exemplar bei der Anwendung als Torschaltung einzustellen. Ist das wegen Überschreitung der höchstzulässigen Katodenbelastung nicht möglich, so muß ein geringerer Strom gewählt werden. Dadurch ergibt sich zwangsläufig ein entsprechend höherer, aus der Steilheit der Kurve zu ersehender Ri.

Stabilisatorglimmlampen weisen einen Kurvenverlauf auf, der ähnlich, jedoch über einen weiten Strombereich nahezu waagerecht verläuft. Er entspricht etwa dem Kurvenbereich zwischen 0,6 ··· 0,7 mA in Bild 2.24., der dabei gedehnt, die rechts und links davon liegenden Kurventeile „gestaucht" zu denken sind. Stabilisatorglimmröhren eignen sich insofern gut für Torschaltungen, ihr Nachteil ist jedoch der aus dem hohen Brennstrom resultierende geringe Widerstand für R 1/R 2 (Bild 2.23.). Man stellt dann eine Stabilisatorglimmröhre bei Verwendung nach Bild 2.23. so ein

daß sich für Ib ein möglichst geringer Wert ergibt, der vorgeschriebene minimale Querstrom Iq_{min} jedoch bei der NF-Aussteuerung nicht unterschritten wird. Für andere Glimmröhren nimmt man unter Beachtung der maximalen Katodenbelastung die Kennlinie ähnlich Bild 2.24. auf und schätzt daraus den optimalen Brennstrom ab. Weitere Hinweise dazu werden in Abschnitt 4.2. gegeben.

2.5.3. Die „schaltstoßfreie" Gegentakttorschaltung

Die bei Bild 2.23. genannten Nachteile der einfachen Torschaltung lassen sich durch eine Gegentakttorschaltung mit zwei Glimmröhren weitgehend vermeiden. Ihr Aufwand ist allerdings höher. Bild 2.25. zeigt die Schaltung. Die prinzipielle Wirkungsweise entspricht Bild 2.23., das zur Arbeitspunkteinstellung im vorigen Abschnitt Gesagte gilt sinngemäß auch hier. Ein- und Ausgang sind durch Übertrager Ü 1 und Ü 2 gleichspannungsmäßig abgetrennt, so daß ohne Koppelkondensatoren auszukommen ist und Kippschwingungen sicher vermieden werden. Während für den NF-Kreis beide Übertragerteilwicklungen sowie Gl 1, Gl 2 in Serie liegen, sind sie für die Steuerspannung U = parallelgeschaltet. Ein- und Ausschaltstromstoß heben sich daher in beiden Übertragerteilwicklungen auf und werden an Ein- und Ausgang nicht wirksam. Der Brennstrom wird im wesentlichen von R 1 bestimmt, während R 2 und R 3

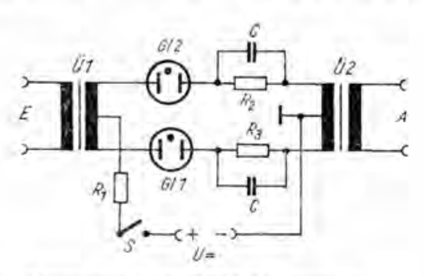


Bild 2.25. „Schaltstoßfreie" Gegentakttorschaltung mit Glimmlampen

die Aufgabe haben, geringe Brennspannungsdifferenzen der Glimmröhren – die man bekanntlich nicht direkt parallelschalten darf (vgl. Abschnitte 2.1.1. und 2.1.3.) – auszugleichen. R 2 und R 3 können je nach Gl 1 und Gl 2 (die weitgehend datengleich sein müssen) verhältnismäßig geringe Werte aufweisen. Für die NF lassen sie sich mit Kondensatoren überbrücken, was jedoch bei geringem R 2 und R 3 und entsprechend hoher Sekundarimpedanz von Ü 1 bzw. Primärimpedanz von Ü 2 nicht unbedingt erforderlich ist. Bei geeigneter Auslegung der Übertrager kann der gesamte NF-Bereich übertragen werden. Mit Rücksicht auf die erforderliche Datengleichheit von Gl 1 und Gl 2 empfehlen sich Miniaturglimmstabilisatoren, für R 2 und R 3 genügen dann wenige hundert Ohm, und die Transformator-Impedanz kann bei einigen Kiloohm liegen, so daß normale NF-Gegentaktübertrager verwendbar werden. Es ist allerdings möglich, daß eine der Glimmröhren beim Einschalten wesentlich eher zündet als die andere. Für diese steht dann nur die Brennspannung der ersteren (zuzüglich deren Spannungsabfall an R 2 oder R 3, der deshalb wiederum nicht zu gering sein darf) zur Zündung zur Verfügung. Diese Spannung reicht zur Zündung nicht aus. Deshalb muß man entweder R 2, R 3 erhöhen (wobei R 2 $\approx$ R 3 sein soll, um die Symmetrie zu wahren) und mit den Kondensatoren C überbrücken, um dafür R 1 zu verringern, oder man verwendet von vornherein zwei Stabilisatorglimmröhren mit Zündelektrode (Abschnitt 2.1.4.). Die Zündelektroden werden dann über ihre Vorwiderstände (Bild 2.5.) direkt an $+ U =$ angeschlossen und stehen ständig unter Spannung, was die gleichzeitige Zündung erleichtert.

2.6. Die Glimmlampe in der HF-Technik

Einige einfache Glimmlampen-Anwendungen in der HF-Amateurtechnik wurden bereits erwähnt (Abschnitte 2.4.1. und 2.4.2.). Weitere Beispiele zeigen die folgenden Ab-

schnitte. Nach dem Grundprinzip der Gasentladung erscheint es zunächst merkwürdig, daß sich die Glimmlampe überhaupt in der HF-Technik anwenden läßt, scheinbar wäre sie dafür zu träge. Das ist jedoch ein Trugschluß. Die obere Frequenzgrenze der Glimmlampe wird beim Anlegen von Gleichspannung gegeben durch die Geschwindigkeit, mit der sich die Ionenlawine – ausgehend von den Elektroden – aufbaut. Beim Ausschalten tritt die Rekombinationszeit (in der Literatur auch „Entionisationszeit" genannt) in Erscheinung, die vergeht, bis alle Ionen mit den vorhandenen Elektronen rekombiniert haben und der Anfangszustand (u. a. Anfangswert der gerade bei Kippschaltungen und vergleichbaren Anwendungen entscheidend mitwirkenden Zündspannung) wieder erreicht ist. Vorwiegend die Rekombinationszeit setzt der Anwendung des Kippgenerators eine obere Frequenzgrenze. In der HF-Technik, in der es auf ständig bestehende Entladung ankommt, interessiert die Rekombinationszeit (abgesehen vom Ausschaltmoment) nicht. Die Ionisationszeit beim Anlegen von HF-Spannung kann jedoch ebenfalls beträchtlich kürzer sein als beim Anlegen von Gleichspannung, da das HF-Feld zwischen den Elektroden wie bei den Belegen eines Kondensators – mit dem Gas als „Dielektrikum" – wirkt. Das Gas wird damit auf seiner ganzen Länge zugleich ionisiert; die „Ionisationslawine" braucht sich nicht von den Elektroden her zu entwickeln, sondern entsteht – vereinfacht dargestellt – „in einem Stück". Die HF-Spannung kann sogar, an das Glasgefäß äußerlich angelegt und beim Fehlen jeglicher in den Entladungsraum ragender Elektroden, die Ionisation so weit bewirken, daß im Gas selbst (ohne Elektroden oder galvanische Verbindung nach außen hin) ein zum Glimmeinsatz ausreichender HF-Strom fließt. Die Glimmerscheinung ist dann, wie nicht anders zu erwarten, gleichmäßig über das ganze Gasvolumen verteilt. Aber auch schwächere HF-Felder können kurz vor Auftreten dieses „HF-Glimmens" die Zündspannung der Röhre für Gleichspannung beträchtlich verringern. Diese Darlegungen zeigen bereits, daß eine Anwendung der

Glimmröhre in der HF-Technik tatsächlich möglich ist und nicht im Widerspruch zu dem bisher Gesagten steht.

2.6.1. Die Glimmlampe als Rauschgenerator

Ebenso wie die Vakuumröhre erzeugt auch die Glimmlampe ein – wegen der statistisch verteilten Ionisations- und Rekombinationsvorgänge und damit schwankender Elektronendichte – beträchtliches Rauschen.
Es ist ähnlich wie bei speziellen Rauschdioden bis in das VHF-Gebiet hinein nachweisbar. Deshalb kann eine normale Glimmlampe als HF-Rauschgenerator benutzt werden, dessen erreichbare Rauschzahl allerdings stark vom Glimmlampentyp sowie vom Exemplar abhängt (nicht jedes Exemplar eignet sich!) und im Vergleich zu speziellen Rauschdioden unter Umständen nicht sehr hoch ist. Für Meßzwecke (kT_0-Messung an Empfängern) eignet sich das Verfahren weniger, da die Rauschzahl einer Glimmlampe zwar weitgehend vom Brennstrom abhängt und mit diesem regelbar ist, aber zeitlich wenig konstant bleibt.
Immerhin läßt sich nach Bild 2.26. ein für Kontrollzwecke und überschlägige Vergleiche ausreichender, schnell zu improvisierender Rauschgenerator aufbauen. Die Rauschspannung wird aus dem Brennstrom abgeleitet und am Widerstand Z, der identisch mit dem Quellwiderstand des Rauschgenerators ist, abgenommen. Z bemißt man im gewünschten Wert (60, 70, 240 oder 300 Ω) bzw. für NF-Zwecke mit einigen Kiloohm. Mit C wird der linke Anschluß von Gl hochfrequenzmäßig auf Massepotential gelegt. Dabei ist besondere Sorgfalt für die Dimensionierung

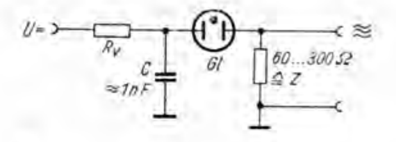


Bild 2.26.
Rauschgenerator
mit Glimmlampe

aufzuwenden. C soll einerseits so groß sein, daß er für den benötigten HF-Bereich noch annähernd als Kurzschluß wirkt, andererseits darf C nicht so groß werden, daß es bereits zum Entstehen von Kippschwingungen kommt (Abschnitt 2.3.). Für NF-Anwendungen (die auch möglich sind, die der Amateur aber selten benötigt, z. B. der Rauschgenerator für elektronische Klangsynthese) verzichtet man auf C und bemißt Z im Wert von Rv, womit Rv entsprechend Bild 2.26. zu Null wird; gegenüber der „Standardschaltung" sind also einfach Gl und Rv vertauscht, Gl liegt an Plus U = und Rv an Masse. Parallel zu Rv nimmt man dann das Rauschen ab.
Für diese Zwecke empfehlen sich Glimmlampen mit nicht zu geringem dynamischem Innenwiderstand, vorzugsweise also Signalglimmlampen ohne eingebauten Widerstand, keine Stabilisatoren! Für HF-Anwendungen kann man bezüglich C entsprechend Bild 2.26. aus der Not eine Tugend machen. Wird C absichtlich so groß bemessen, daß zusammen mit Rv bereits Kippschwingungen entstehen, dann bilden diese eine manchmal willkommene Modulation des Rauschens. Das bedeutet, immer im Moment der Kippentladung werden kurze Rauschspannungsimpulse so lange erzeugt, wie die Glimmentladung andauert. Am Ausgang bei Z kann man dann z. B. bei Anschluß eines Empfängers die NF-Modulation meist noch auf dem UKW-Bereich hören (falls Gl ausreichend Rauschspannung erzeugt!). Es handelt sich dabei tatsächlich um die periodisch auftretende und auch mit dem FM-Teil „demodulierbare" Rauschspannung, nicht etwa um Kippschwingungs-Oberwellen, wie der Amateur oft annimmt. Letzteres wäre auf Grund der oberen Grenzfrequenz der Glimmlampe und der dadurch bedingten geringen Flankensteilheit der Entladungsimpulse allerdings nicht möglich. – Durch Veränderung von Rv kann die Rauschstärke in gewissen Grenzen geregelt werden. Welche Glimmlampen sich dazu eignen, ist von Fall zu Fall auszuprobieren. Für VHF-Bereiche wird man kapazitätsarme (stabförmige oder ungesockelte) Glimmlampen bevorzugen und C, Gl und Z eng aneinander anordnen.

2.6.2. Die Glimmlampe als HF-Spannungsindikator

Wie einleitend bereits erwähnt wurde, bewirken ausreichend starke HF-Felder bereits ohne galvanische Verbindung ein Glimmen der Gasfüllung. Es genügt oft schon, eine Glimmlampe – eventuell an einem Pol mit der Hand berührt – in Nähe eines Sender-Ausgangs zu halten, um die HF nachweisen zu können. Für geringere HF-Spannungen kann man der Glimmlampe wiederum eine Vorspannung geben, wie Bild 2.27. zeigt. Eine beliebige Gleichspannung Uv wird mit P so eingeregelt, daß die gezündete Glimmlampe gerade wieder verlöscht. Rv ist der übliche Vorwiderstand (einige hundert Kiloohm).
Die HF-Drosseln Dr 1 und Dr 2 (je nach gewünschtem HF-Bereich als Sperrdrosseln zu bemessen und weitgehend unkritisch) verhindern ein Abfließen der bei U_{HF} anzulegenden HF-Spannung. Die 1-nF-Kondensatoren verhindern Abfließen der Vorspannung. Funktionell hat diese Anordnung weitgehend Ähnlichkeit mit dem NF-Pegelanzeiger nach Bild 2.11. An Stelle der HF-Drosseln (Bild 2.27.a) kann man eventuell auch Rv auf zwei gleich große Widerstände Rv/2 aufteilen (Bild 2.27.b) und die Drosseln einsparen.
Aus den in Abschnitt 2.6. genannten Gründen eignet sich die Glimmlampe in entsprechender Bauform (Miniaturstabglimmlampe) auch für den UHF-Bereich als Indikator. Bei ausreichend hoher HF-Spannung erübrigt sich dann die Vorspannung, und es genügt das Anlegen der HF an die Glimmlampe. Bild 2.28. zeigt als Beispiel dafür den Nachweis der UHF-Spannung auf einer Lecherleitung. Durch

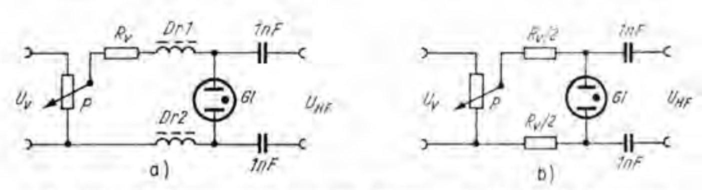


Bild 2.27. HF-Spannungsindikator mit Glimmlampe (a). Durch Aufteilung von Rv auf beide Zweige können die Drosseln entfallen (b)

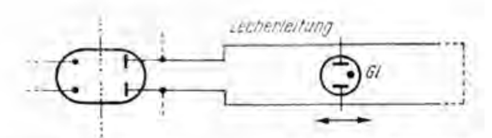


Bild 2.28. HF-Spannungsnachweis mit Glimmlampe an einer Lecherleitung

Längsverschiebung von Gl auf der Lecherleitung kann man die Lage der Strom- und Spannungsbäuche (letztere fallen mit maximaler Helligkeit des Glimmlichts zusammen) ermitteln.

2.7. Die Glimmstrecke als Eichspannungsquelle

2.7.1. Gleichspannungseichung

Die Anwendung der Glimmröhre als Spannungsnormal für Gleichspannung bedarf keiner näheren Erläuterung, da es sich um einen „Normalfall" der Spannungsstabilisation handelt. Eine mit Stabilisatoren erzeugte Gleichspannung ist konstant, ihre Höhe bekannt. Sie kann demzufolge als Spannungsnormal dienen und durch Spannungsteilung mit genau bekannten Widerständen oder geeichtem Potentiometer auf bekannte Teilbeträge herabgesetzt werden. Die Stabilisation von Gleichspannungen wurde in Abschnitt 2.1. bereits behandelt.

2.7.2. Wechselspannungseichung

Insbesondere für oszillografische Messungen wird eine konstante Wechselspannungsquelle benötigt. Nach Bild 2.29. kann man mittels Glimmstabilisatorröhre eine Wechselspannung prinzipiell ebenso stabilisieren und für Eichzwecke verwenden wie eine Gleichspannung. Die Wechselspannungshalbwellen werden auf den Wert der Stabilisatorbrennspannung begrenzt, wobei wieder die typische



Bild 2.29. Wechselspannungsstabilisation

Zündspitze im Kurvenbild auftritt, die bei Bild 1.4. bereits erläutert wurde.
Der Abstand zwischen oberem und unterem Kurvendach im Oszillogrammbild dieser Spannungskurve entspricht somit der doppelten Stabilisatorbrennspannung. Bei Anwendung des Stabilisators für Wechselspannung muß man allerdings beachten, daß der Stabilisator bei jeder zweiten Halbwelle „falsch gepolt" betrieben wird. Das ist jedoch für Stabilisatoren mit ausreichend großflächiger Anode (die dann als Katode wirkt) in diesem Fall vertretbar, wenn Rv gleichzeitig den Brennstrom in Nähe des minimal vorgeschriebenen Querstroms bei Normalbetrieb einstellt. Damit man eine für die oszillografischen Anwendungen besonders günstige nahezu rechteckförmige Eichspannungskurve erhält, soll die Stabilisatorbrennspannung sehr gering, die Betriebswechselspannung möglichst hoch sein, so daß die Nulldurchgänge schnell durchlaufen werden und die Sinuskurve zeitig begrenzt wird. Für Rv ergibt sich deshalb ein relativ hoher Wert; das kommt der Spannungskonstanz zugute. Der nächste Abschnitt zeigt ein dimensioniertes Beispiel. Es ist stets zu beachten, daß die so erhaltene konstante Wechselspannung keine Sinusform mehr hat und daher mit üblichen Zeigermeßgeräten nicht richtig angezeigt wird! Alle üblichen Zeigermeßgeräte (Vielfachmesser u. ä.) sind für Sinusspannungen geeicht, nur für diese Spannungsform stimmt ihre Anzeige!

2.7.3. Eichspannungszusatz für Oszillografen

Bild 2.30. zeigt einen Eichspannungszusatz für Oszillografen mit der Glimmstabilisatorröhre StR 75/60. Er wird aus einem üblichen Netztransformator mit etwa 375 V~ betrieben.

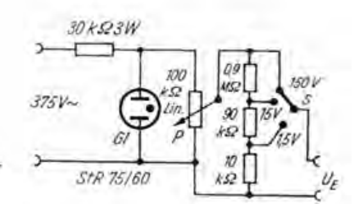


Bild 2.30.
Eichspannungszusatz für Oszillografen

Die mit Gl auf ± 75 V, d. h. auf eine Spitze-Spitze-Spannung von 150 V begrenzte Wechselspannung kann mit dem geeichten Präzisionsdrahtpotentiometer P zwischen 0 und 150 V (Uss) geregelt werden. Der nachfolgende Spannungsteiler gestattet die mit P abgegriffene Spannung im Verhältnis 1 : 10 oder 1 :100 mit Stufenschalter S zu reduzieren, so daß sich auch kleine Spannungen oszillografisch messen lassen. Die Anwendung dieser Vergleichsspannung ist eingehend in Heft 44 und 45 dieser Reihe (Jakubaschk, *Oszillografentechnik für den Amateur* Teil I und II) beschrieben.

Regler P muß nach Fertigstellung einmalig geeicht werden. Das läßt sich nicht mit Wechselspannung vornehmen, da dem Amateur im allgemeinen keine Meßmöglichkeit für nichtsinusförmige Spannungen zur Verfügung steht. Man führt die Eichung mit Gleichspannung durch, indem statt 375 V ~ eine Gleichspannung gleicher Höhe und in für den Stabilisator richtiger Polung angelegt wird. Mit einem hochohmigen Vielfachmesser (20 kΩ/V) oder Gleichspannungsröhrenvoltmeter mißt man in Stellung S auf „150 V" die am Ausgang U_E auftretende Gleichspannung für jede Potentiometerstellung und multipliziert mit dem Faktor 2. Dieser Wert wird an P jeweils angeschrieben. Die so gefundenen Zahlen geben später unmittelbar die Spitze-Spitze-Spannung Uss an. Die Teilwiderstände am Schalter S werden auf genauen Wert ausgemessen (ggf. aus Einzelwiderständen kombinieren!); es stimmen dann auch die übrigen Schalterstufen.

3. Sonderformen und Sonderanwendungen

3.1. Sonderanwendungen normaler Glimmstrecken

3.1.1. Demonstrationsmodell für einen Strahlungsindikator

Diese experimentelle Anwendung einer Glimmlampe hat reinen Demonstrationscharakter und ermöglicht den Nachweis des Einflusses fremder Strahlung – in diesem Falle Licht – auf die Gasentladung. Es lassen sich gewisse funktionelle Parallelen zu den auch in der Militärtechnik weitverbreiteten Kernstrahlungs-Indikatoren zum Nachweis radioaktiver Strahlung ziehen.
Wie in Abschnitt 1. erwähnt, kann Fremdstrahlung zusätzliche, allerdings nicht sehr erhebliche Ionisation der Gasfüllung bewirken oder diese zumindest erleichtern. Das gilt auch für Lichteinwirkung (Lichtstrahlung unterscheidet sich von radioaktiver Gammastrahlung oder Röntgenstrahlung lediglich durch ihre größere Wellenlänge und entsprechend geringeren Energiegehalt). Bild 3.1. zeigt die für dieses Experiment benutzte Versuchsschaltung. Sie ist zunächst nichts anderes als ein Glimmlampentongenerator ähnlich Abschnitt 2.3.2. Als Glimmlampe läßt sich grundsätzlich jede Ausführung verwenden, bei der das Licht guten Zutritt in den Entladungsraum zwischen den Elektroden hat, u. a. wieder die mehrfach erwähnte Prüfstift-

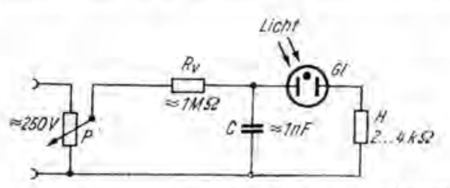


Bild 3.1. Demonstrationsgerät für einen Strahlungsindikator. H ist ein Kopfhörer

glimmlampe in Röhrchenform. Allerdings muß erwähnt werden, daß sich nicht jede Glimmlampe gleichermaßen gut eignet. Selbst innerhalb eines Typs zeigen einzelne Exemplare sehr deutliche Effekte, während andere kaum oder nicht auf Licht reagieren. In diesem Fall kann also nur der Versuch entscheiden. Ungeeignet sind von vornherein nur Glimmlampen mit eingebautem Vorwiderstand sowie Stabilisatorglimmlampen, bei denen der hier ausgenutzte Effekt bestmöglich vom Hersteller unterdrückt wird.
Mit Rv und C bestimmt man für den Kopfhörer H, der unmittelbar mit der Glimmlampe in Serie liegt und die Entlade-Impulse hörbar macht, eine günstige Tonhöhe um etwa 500 bis 600 Hz, die nicht allzu kritisch ist. Mit P stellt man die Betriebsspannung so ein, daß der Tongenerator gerade anschwingt. Während man bei üblichen Glimmkippgeneratoren mit Rücksicht auf gute Sägezahnform und Frequenzkonstanz bemüht ist, mit einer gegenüber der Lampenzündspannung möglichst hohen Betriebsspannung zu arbeiten (vgl. Abschnitt 2.3.4.), wird in diesem Fall gerade umgekehrt verfahren. Vorteilhaft sind Glimmlampen mit großer Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung, insgesamt also mit hoher Zündspannung, während man mit P die Betriebsspannung nur knapp über der Zündspannung hält. Dadurch wird erreicht, daß die Kondensatorladung verhältnismäßig schnell bis in Nähe der Zündspannung läuft, sich dieser nähernd aber immer langsamer vonstatten geht. Es besteht also je Kipperiode ein verhältnismäßig großer Zeitraum, in dem die Zündung unmittelbar bevorsteht und die vorhandenen Ionen und Elektronen nahezu, aber noch nicht ganz die zur Entfaltung der Ionisationslawine ausreichende Energie haben. In diesem Stadium genügt bereits ein geringer äußerer Anlaß, z. B. zusätzliche Beschleunigung oder Ionisation weniger Gas-Atome im Entladungsraum durch zugeführte Strahlung (Licht), um die Zündung etwas vorzeitig auszulösen, den Ladezeitraum somit zu verringern und die Kippfrequenz gering, aber deutlich hörbar zu erhöhen. Eine nicht zu schwache Bestrahlung von Gl mit Licht ergibt dann im Hörer H

ein deutlich wahrnehmbares Ansteigen der Tonhöhe, bei Abdecken des Lichtes geht die Tonhöhe wieder zurück. Dieser akustische Effekt dient als Nachweis für den Einfluß der Lichtstrahlung auf die Gasentladung.

3.1.2. Die Glimmröhre als Schwellwertschalter

Die Eigenschaft der Glimmröhre, erst bei einer bestimmten Mindestspannung leitend zu werden, kann man für die Auslösung von Schaltvorgängen bei Überschreiten eines – durch die Zündspannung der Glimmlampe gegebenen – Spannungsschwellwerts benutzen. Bild 3.2. zeigt ein einfaches Anwendungsbeispiel dafür. Das Relais Rel – dessen Wicklungswiderstand dem für Gl erforderlichen Wert des Vorwiderstands entspricht oder, falls geringer, mit Serienwiderstand auf den für Rv erforderlichen Wert ergänzt wird – ist abgefallen, solange die bei U angelegte Spannung unter der Zündspannung von Gl bleibt. Wird Uz überschritten, so zündet Gl, und der Brennstrom bringt Rel zum Anziehen. Das Relais löst dann mit seinem Schaltkontakt die gewünschten Schalt- oder Signalvorgänge aus. Sobald U den Wert der Löschspannung unterschreitet, fällt Rel wieder ab. Legt man den Widerstand von Rel bzw. Rv nicht größer aus, als erforderlich, um eine Überlastung von Gl zu vermeiden (dabei maximalen für U zu erwartenden Wert berücksichtigen!), so fällt Rel erst ab, wenn U bis in Nähe der Löschspannung abgesunken ist. Dann ergibt sich für U je nach Gl eine verhältnismäßig große Differenz zwischen Einschalt- und Ausschaltwert. Erhält Rv bzw. der Relaiswiderstand einen so großen Wert, daß bei $U = U_z$ nur der für Anzug von Rel ausreichende Stromfluß zu-

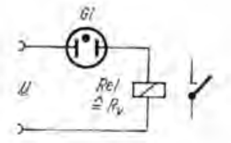


Bild 3.2
Glimmlampe als Schwellwertschalter

stande kommt, so fällt Rel bereits bei geringem U-Rückgang wieder ab, weil (trotz noch nicht erloschener Gl) der Mindesthaltestrom für Rel unterschritten wird.
Weitere Anwendungsbeispiele für Glimmlampenschwellwertschalter sind im *Großen Elektronikbastelbuch* als Netzspannungssollwertkontrolle zu finden, ferner für automatische Startschaltung eines Magnetbandgeräts und zur automatischen Abschaltung eines Elektronenblitzgeräts. Die im gleichen Buch beschriebene „umgedrehte Stabilisation" zum Vergrößern von Spannungsschwankungen ist ebenfalls eine Anwendung der Glimmlampe als Schwellwertschalter.

3.2. Sonderformen von Glimmröhren

3.2.1. Ziffernanzeigeröhren

Dabei handelt es sich um reine Anzeigeorgane, die vorwiegend für die digitale Meßwertanzeige sowie Zähl- und Rechentechnik (Ergebnisanzeige) benutzt werden. Bild 3.3. zeigt Prinzipaufbau und Schaltung. Es handelt sich um eine funktionsmäßig „normale" Signalglimmlampe, die jedoch zehn getrennte Katoden hat. In Blickrichtung in die Röhre gesehen (nach Bild 3.3. von rechts) sitzt zuoberst die Anode, die als weitmaschiges Drahtnetz o. ä. die Sicht wenig verdeckende Elektrodenform ausgeführt ist. Dahinter tiefenmäßig gestaffelt, folgen die zehn getrennt herausgeführten Katoden. Jede Katode hat die Form einer Ziffer

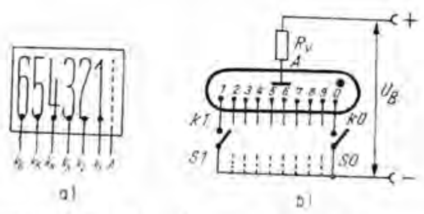


Bild 3.3. Ziffernanzeigeröhre, Aufbau (a) und Prinzipschaltung (b)

(meist aus Draht gebogen) und ist so angeordnet, daß sie die dahinterliegenden möglichst wenig verdeckt. Die jeweils angeschlossene Katode erscheint völlig mit Glimmlicht bedeckt in ihrer Kontur als „leuchtende Ziffer" vor dem dunklen Hintergrund der übrigen nicht angeschlossenen Katoden. Sonderausführungen solcher Anzeigeröhren tragen an Stelle der Ziffern andere Symbole (+, –, V, A, Ω, W, Hz, =, ~ usw.), mit denen z. B. bei digitalen Meßgeräten neben der Ergebnisanzeige auch die jeweilige Maßeinheit mit angezeigt werden kann. Die Schaltung erfolgt im Prinzip nach Bild 3.3.b. Der Anode A ist der übliche Vorwiderstand Rv vorgeschaltet, der je nach Röhrentyp und Betriebsspannung U_B (die wegen der relativ hohen Zündspannung dieser Röhren meist um 300 V und mehr beträgt) genau bemessen werden muß, da der Röhrenhersteller für jeden Anzeigeröhrentyp einen bestimmten Brennstrom vorschreibt (der für alle Katoden gleich ist). Wird er überschritten, so weist die betreffende Ziffernkatode sehr bald Defekte auf; bei Unterschreitung des Sollstroms bedeckt sich nicht die ganze Katode mit Glimmlicht, und das Ziffernbild erscheint verstümmelt. Entsprechend Bild 3.3.b leuchtet je nachdem, welcher der Schalter S 1 bis S 0 geschlossen ist, die Katode K 1 ··· K 0 auf.
An Stelle der mechanischen Schalter S sind bei modernen digitalen Zählgeräten meist kontaktlose Schalter (Thyratrons oder auch Glimmzählröhren o. ä.) vorhanden. Auch Relaiskontakte oder Drehwähler können an die Stelle von S treten. Der vorgeschriebene Brennstrom liegt je nach Anzeigeröhrentyp bei etwa 1 mA.

3.2.2. Glimmzählröhren

Relativ kostspielig, aber für den Amateur sehr interessant sind die Glimmzählröhren. Sie werden, wie der Name bereits andeutet, zur Zählung von Impulsen benutzt. Es gibt zwei konstruktiv etwas unterschiedliche Grundformen von Glimmzählröhren, mit einer und mit zwei Steuerelektroden

(auch als Hilfselektroden bezeichnet). Für den Amateur sind Glimmzählröhren mit einer Hilfselektrode auf Grund ihrer einfacheren Schaltungstechnik interessanter; außerdem ermöglichen sie im allgemeinen eine höhere Zählgeschwindigkeit als solche mit zwei Hilfselektroden. Letztere haben dagegen den Vorteil, in beiden Richtungen – also auch rückwärts – zu zählen, so daß man Zählergebnisse nicht nur addieren, sondern auch subtrahieren kann. Ein typischer Vertreter einer Glimmzählröhre mit einer Hilfselektrode ist der Typ N 4 (Hersteller DGL Pressler KG, Leipzig).

Glimmzählröhren mit zwei Hilfselektroden werden in der DDR vom VEB Werk für Fernsehelektronik Berlin in verschiedenen Typen hergestellt, die sich nicht in der Funktion, sondern nur in Betriebsdaten und Elektrodenanschlüssen unterscheiden. Für die Pressler-Zählröhre N 4 sind im *Großen Elektronikbastelbuch* einige dimensionierte Schaltbeispiele (Zählfrequenzmesser, Impulszählgerät, Frequenzteiler, Treppenimpulsgenerator u. ä.) zu finden. Im Rahmen der vorliegenden Broschüre kann nur die prinzipielle Wirkungsweise von Zählröhren erläutert werden, deren

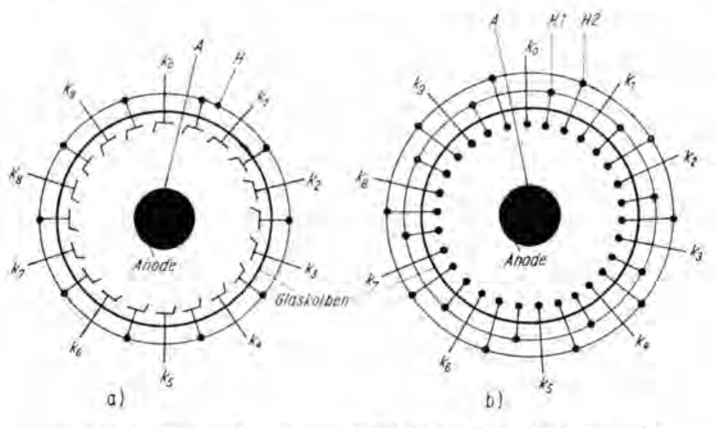
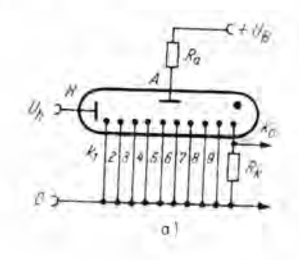


Bild 3.4 Glimmzählröhre mit einer Hilfselektrode (a) und mit zwei Hilfselektroden (b)

Anwendung ausschließlich für den erfahrenen Amateur in Betracht kommt.

Bild 3.4. zeigt den Aufbau einer Glimmzählröhre mit einer Hilfselektrode (Typ Pressler N 4) im Prinzip, Bild 3.4.b den Aufbau einer Zählröhre mit zwei Hilfselektroden. Zunächst sei der Aufbau entsprechend Bild 3.4.a beschrieben. Um eine zentral angeordnete Anode A befinden sich kreisförmig in geringem Abstand zehn kleine plättchenförmige, gut sichtbare Katoden K 1 ··· K 0. Jeweils zwischen zwei Katoden sitzt eine – ebenso beschaffene – Hilfselektrode (Hilfskatode) H, von denen jede Glimmzählröhre also ebenfalls zehn Hilfselektroden hat. Alle Hilfskatoden sind im Röhreninnern verbunden und an einen gemeinsamen Hilfselektrodenanschluß H herausgeführt. Wird zwischen Anode A und Katode K eine Gleichspannung angelegt (selbstverständlich über einen Anodenvorwiderstand), so wird die angeschlossene Katode durch ihre Glimmlichtbedeckung als auffälliger Leuchtpunkt sichtbar. Wie Bild 3.4. erkennen läßt, trägt jede Katode und Hilfskatode einen



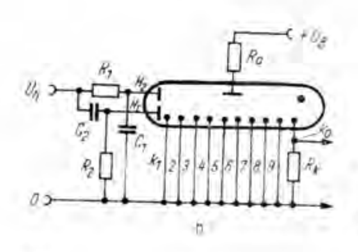


Bild 3.5.
Prinzipschaltung der Glimmzählröhre mit einer Hilfselektrode (a) und mit zwei Hilfselektroden (b)

kleinen seitlich abgewinkelten Ansatz, der in den Entladungsraum der vorhergehenden Katode hineinragt. Er ist von entscheidender Bedeutung für die Zählfunktion.
Um die Funktion zu erläutern, soll zunächst die entsprechende Prinzipschaltung (Bild 3.5.a) beschrieben werden. K 1 ··· K 0 sind die zehn Katodenanschlüsse, H der allen Hilfskatoden gemeinsame Anschluß. Der Anode A wird der Vorwiderstand Ra vorgeschaltet.
Zur sicheren Zählfunktion ist der vorgeschriebene Brennstrom (bei der N 4 : 1,5 mA) genau einzuhalten, Ra muß daher je nach U_B (mindestens 300 V) genau bemessen werden. H sei zunächst nicht angelegt, Rk kurzgeschlossen und nicht vorhanden. Beim Anlegen der Betriebsspannung zündet die Gasentladung zwischen A und einer der Katoden K. Welche Katode zündet, hängt theoretisch vom Zufall ab. Es sei angenommen, Katode K 1 habe gezündet. Durch den nun fließenden Brennstrom sinkt die Anodenspannung auf den Wert der Brennspannung ab – die übrigen Katoden können also nicht mehr zünden! Weiter geschieht zunächst nichts. Nunmehr werde zwischen H und 0 die Hilfsspannung Uh angelegt, und zwar mit Minuspol an H. Wie leicht zu erklären ist, wird sich eine Glimmentladung stets zwischen Anode und derjenigen Katode ausbilden, zwischen der die größte Spannungsdifferenz besteht. Entsprechend Bild 3.4.a sind jetzt aber sämtliche Hilfskatoden H um den Betrag der Spannung Uh (Bild 3.5.a) negativer gegen Anode A als die Katoden. Katode K 1 war als gezündet angenommen worden. In ihren Entladungsraum ragt nun der seitliche Ansatz der ihr benachbarten Hilfskatode hinein – die Glimmentladung springt demzufolge von K 1 auf die benachbarte Hilfskatode über. Nunmehr wird die Spannung Uh umgepolt, sie erscheint jetzt mit Plus an allen Hilfskatoden H. H ist nun um den Betrag Uh positiver als die Katoden K 1 ··· K 0, so daß die größte Spannungsdifferenz wieder zwischen Anode und den Katoden K herrscht. Von diesen ragt aber der Ansatz von K 2 in den Entladungsraum der vorhergehenden Hilfskatode (die die Entladung von K 1 übernommen hatte) hinein, die Entladung

wird demzufolge von H auf K 2 übergehen. Damit wurde die Glimmentladung sowie der von ihr erzeugte Lichtpunkt von K 1 auf K 2 „weitergereicht". Wird Uh jetzt erneut angelegt, so ragt diesmal die K 2 folgende Hilfskatode in die bestehende Glimmentladung, übernimmt diese und „reicht" sie – nach Umpolen von Uh – auf die in ihren Entladungsraum hineinragende Katode K 3 weiter. Jeder bei Uh angelegte Spannungsimpuls läßt die Glimmentladung um eine Katode K weiterwandern – die Impulse werden gezählt! Die Katoden K sind mit einem außen um die Röhre gelegten Zahlenring beziffert.
In der praktischen Anwendung erhält H ständig eine geringe positive Vorspannung (etwa 20 bis 30 V), so daß bei fehlender Uh die Glimmentladung grundsätzlich auf einer Hauptkatode K stehenbleibt. Bei Uh sind jetzt nur noch negative Impulse nahezu beliebiger Form – im einfachsten Fall eine Sinuswechselspannung – anzulegen, die den Betrag der Vorspannung ausreichend überschreiten müssen. Die Hilfskatoden werden dann je negativem Zählimpuls bei Uh (bei Sinusspannung je Periode einmal) negativ und wieder positiv gegen die Katoden, so daß jeder Impuls (bei Sinusspannung jede Periode) gezählt wird. Die Zählgeschwindigkeit der N 4 beträgt je nach Impulsform bis 25 kHz, in Sonderfällen sogar bis 100 kHz, das sind 10^5 Zählvorgänge in der Sekunde! Die Röhre zählt nur einstellig, also bis K 0, danach beginnt die Zählung wieder mit K 1. Durch Anwendung mehrerer Zählröhren kann man mit nahezu beliebiger Stellenzahl zählen. Dazu schaltet man in die Katode K 0 einen Katodenwiderstand Rk ein (Bild 3.5.a). Jedesmal wenn K 0 erreicht wird, fällt an Rk durch den Brennstrom eine Spannung ab. An Rk kann also mit jedem zehnten gezählten Impuls ein Steuerimpuls abgenommen werden, der nach Polaritätsumkehr als Steuerimpuls Uh für die nachfolgende zweite, ebenso geschaltete Zählröhre dient. Diese zählt dann die „Zehner" des Ergebnisses. Auch bei ihr kann ein Katodenwiderstand Rk vorgesehen werden, der zur Ansteuerung einer dritten, die „Hunderter" zählenden Röhre dient usw. – Für Sonder-

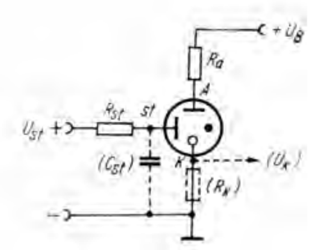
zwecke (Frequenzteilung u. ä.) lassen sich auch die übrigen Katoden mit Katodenwiderständen versehen (deshalb sind sie bei der Type N 4 alle getrennt herausgeführt), so daß man bei jedem 2. oder 5. Eingangsimpuls einen Steuerimpuls für weitere Zwecke erhält. Im *Großen Elektronikbastelbuch* werden solche Möglichkeiten näher erläutert.
Die Zählrichtung bei diesem Röhrentyp (Bild 3.4.a) ist durch die Lage der Ansätze an den Katoden und Hilfskatoden vorgegeben. Die in beiden Richtungen zählenden Röhrentypen mit zwei Hilfskatoden (die allerdings geringere maximale Zählgeschwindigkeit, meist bei 4 kHz, haben) sind dagegen nach Bild 3.4.b aufgebaut. Die Katoden K 1 ··· K 0 stellen hier ebenso wie die Hilfskatoden H 1 und H 2 einfache stabförmige Gebilde dar, um die sich die Glimmentladung als Leuchtpunkt ausbildet. Jedoch folgen auf eine Katode K zwei Hilfselektroden, und zwar in der Reihenfolge K, H 1, H 2 . . . Alle Hilfskatoden H 1 sowie alle Hilfskatoden H 2 sind im Röhreninnern verbunden und als je ein Anschluß H 1 und H 2 herausgeführt (Bild 3.5.b). Die einzelnen Katodenstifte liegen so eng beieinander, daß die einer Hauptkatode K benachbarten Hilfskatoden in ihren Glimmlichtbereich ragen. In Vorwärtsrichtung ist das H 1, in Rückwärtsrichtung dagegen H 2. Der Steuerimpuls Uh (Bild 3.5.b) wird nun beiden Elektroden H mit geringer zeitlicher Differenz zugeführt; das läßt sich durch vorgeschaltete RC-Glieder erreichen.
In diesem Fall erreicht man durch C 2/R 2 eine Phasenvoreilung, durch R 1/C 1 dagegen eine Phasennacheilung. Demzufolge steigt die negative Spannung an H 1 eher an als an H 2, und die Glimmentladung wird (Prinzip ähnlich Bild 3.4.a!) von der zuletzt gezündeten Katode auf die ihr benachbarte H-1-Katode gezogen. Etwas später steigt an H 2 die Spannung an, während sie an H 1 bereits wieder fällt. Dadurch wandert die Entladung von H 1 nach H 2 und von hier, sobald auch an H 2 die Spannung fällt, zu der auf H 2 folgenden Katode K. Die Glimmentladung wird also über zwei Hilfselektroden „weitergereicht", die zeitlich gegeneinander verzögert vom selben (zu zählenden)

Steuerimpuls Uh gespeist werden. Will man in umgekehrter Richtung (rückwärts) zählen, so braucht man nur die Röhrenanschlüsse H 1 und H 2 gegeneinander zu vertauschen. Dieser Vorteil wird durch die etwas umständlichere und frequenzabhängige Phasenverschiebungsschaltung für H 1 und H 2 sowie durch die geringere Zählgeschwindigkeit gegenüber dem Prinzip nach Bild 3.4. oftmals aufgehoben. Die Ableitung eines Zehner-Impulses für die folgende Zählröhre geschieht wieder durch den Katodenwiderstand Rk (Bild 3.5.b). Der so gewonnene Impuls wird nach Phasenumkehr und Aufteilung auf zwei zeitlich versetzte Impulse der ebenso geschalteten nächsten Zähldekade zugeführt. Für U_B, Ra, Brennstrom usw. gelten ähnliche Verhältnisse wie bei dem Zählröhrentyp nach Bild 3.5.a. Auch in diesem Fall müssen die Betriebswerte genau eingehalten werden.

3.2.3. Das Kaltkatoden-Thyratron

Das Kaltkatoden-Thyratron ist ebenfalls eine für Schaltzwecke bestimmte und auch für den Amateur vielseitig einsetzbare Sonderform einer Gasentladungsröhre. Für diesen Spezialröhrentyp sind im *Großen Elektronikbastelbuch* zahlreiche dimensionierte Schaltungsbeispiele zu finden, während im vorliegenden Band nur die prinzipielle Wirkungsweise beschrieben werden kann. Thyratrons stellt in der DDR ebenfalls der VEB Werk für Fernsehelektronik in zahlreichen Typen her. Sie ähneln zum Teil einer Rundfunkröhre, etwa der Bauform einer Vakuumtriode EC 92, teils werden sie auch in Miniaturform zum Einlöten oder in etwas größerer Ausführung mit Stecksockel gefertigt.
Bild 3.6. zeigt Prinzipaufbau und Schaltungsweise eines Thyratrons mit kalter Katode. Es gibt auch Thyratrons mit geheizter Katode, die sich vom Kaltkatoden-Thyratron im wesentlichen nur durch das Vorhandensein einer Heizung und durch extrem niedrige Brennspannung (unter 10 V!) unterscheiden. Auf diese Röhren kann nicht näher einge-

Bild 3.6.
Zur Funktionsweise des Kaltkatoden-Thyratrons



gangen werden. Die „kalte", d. h. unbeheizte Katode wird durch den Katodenkreis an Stelle des sonst hier üblichen Punktes gekennzeichnet, die Gasfüllung wiederum durch einen schwarzen Punkt in Katodennähe. Außer der Hauptanode A ist eine Zündelektrode vorhanden, die man beim Thyratron als „Starter" St bezeichnet. Insoweit ähnelt das Thyratron einem Glimmstabilisator mit Zündhilfselektrode (Bild 2.5.). Die Betriebsweise ist jedoch grundlegend anders, obwohl sie physikalisch auf dem gleichen Prinzip beruht.

Kennzeichnend für das Thyratron ist neben einem verhältnismäßig hohen zulässigen Brennstrom (je nach Typ 10 bis 25 mA, bei Thyratrons mit geheizter Katode bis zu einigen Ampere!), der unmittelbar zur Betätigung von Relais ausreicht, die große Differenz zwischen Zünd- und Brennspannung der Anode-Katode-Strecke. Die zweite entscheidende Besonderheit besteht darin, daß die Zündspannung der Katode-Starter-Strecke erheblich niedrigere Werte hat als die Zündspannung der Hauptstrecke. Die dritte Besonderheit wird dadurch gekennzeichnet, daß nach Zündung der Starterstrecke die Zündspannung der Hauptstrecke erheblich absinkt (läßt sich mit der Bildung von Ionen zwischen Katode und Starter nach dessen Zündung erklären – von hier nimmt die zur Zündung der Hauptstrecke Katode-Anode führende Ionenlawine ihren Ausgang). Typische Werte für ein Kaltkatoden-Thyratron, das auch für Amateurzwecke gut geeignet ist und die Typenbezeichnung Z 5823 trägt, sind z. B. maximal zulässiger Katodenstrom = 25 mA, Zündspannung Anode-Katode bei

offenem Starterkreis mindestens 200 V. Starterzündspannung maximal 85 V, Zündspannung Anode-Katode nach gezündetem Starter = höchstens 105 V, Brennspannung der Hauptstrecke Anode-Katode = 65 V. Zur Zündung der Hauptstrecke erforderlicher Mindeststarterstrom etwa 50 μA.

Entsprechend Bild 3.6. soll die Betriebsspannung U_B mit 130 bis 150 V gewählt werden. Ust sei zunächst Null. Nach den genannten Zahlen erfolgt daher keine Zündung der Anodenstrecke, Ra bleibt stromlos. Bei Ust wird nun eine Spannung von mindestens 85 V angelegt. Rst ist der zur Strombegrenzung erforderliche Startervorwiderstand. Er darf so groß sein, daß bei der Spannung Ust noch der angegebene Mindeststarterstrom erreicht wird. Der Starter zündet; das bewirkt die erwähnte Verringerung der Anodenzündspannung auf 105 V – und da $U_B \approx 150$ V ist, zündet sofort auch die Hauptstrecke. Ra erhält Strom (er bewirkt die auch in diesem Fall erforderliche Strombegrenzung auf maximal 25 mA), und an der Anode stellt sich die Brennspannung mit 65 V ein. Durch den weniger als 0,1 mA betragenden Starterstrom wurde der um ein vielfaches stärkere Anodenstrom ausgelöst! Das Thyratron wird auf Grund dieser Wirkung gelegentlich als „Relaisröhre" bezeichnet und entsprechend angewendet. Diese Bezeichnung hat das Thyratron auch deshalb erhalten, da sich an Stelle von Ra die Wicklung eines kräftigen Relais einschalten läßt, das dann mit dem geringen Starterstrom zum Anziehen zu bringen ist.

Nach Zündung verliert der Starter seine Wirkung – das Thyratron kann nur durch Abschalten der Anodenspannung oder durch Absenken von U_B unter die Löschspannung des Thyratrons gelöscht werden.

Durch Anwendung eines Schaltungskunstgriffs gelingt es, die Zündung auch mit weit geringerem Starterstrom (1 μA und weniger) auszulösen. Man benutzt dann einen Starthilfskondensator Cst (in Bild 3.6. punktiert gezeichnet). Rst und Cst bilden zusammen mit der Strecke Katode-Starter eine Kippschaltung (Bild 2.14.).

Über Rst kann Cst jetzt mit sehr geringem Strom aufgeladen werden, bis die Starterzündspannung erreicht ist. In diesem Moment entlädt sich Cst stoßartig über den Starter, wobei der Entladestromstoß weit stärker sein kann als die über Rst entstandene Ladestromstärke. Sie reicht dann zur Zündung der Hauptstrecke aus.
Fügt man in die Katodenleitung einen Widerstand Rk ein, so läßt sich nach erfolgter Zündung eine Katodenspannung Uk abnehmen, die ihrerseits als Zündspannung für den Starter einer folgenden Röhre dienen kann. Die Anwendungsmöglichkeiten sind so vielgestaltig, daß sie nicht alle aufgezählt werden können. Mit Thyratrons lassen sich Zeitverzögerungs-, Taktgeber- und Zeitgeberschaltungen, Steuerschaltungen verschiedenster Art, Multivibratoren, Impulszählschaltungen (Wirkungsweise ähnlich der einer Glimmzählröhre), Ringzählketten, Rechenschaltungen u. ä. aufbauen. Ringzählketten und Rechenschaltungen sind allerdings auf Grund der vielen Thyratrons für den Amateur zu aufwendig. Für die erwähnten Anwendungsgebiete sind im *Großen Elektronikbastelbuch* zahlreiche nachbaufähige Beispiele beschrieben.
Einige Thyratrontypen haben zwei Starter, so daß sich die Schaltungsmöglichkeiten noch erweitern (es lassen sich zwei getrennte, funktionell eventuell unterschiedliche Startfunktionen schaffen), sowie gelegentlich eine Hilfsanode, die ständig an positiver Spannung liegt. Mit ihr wird ständig eine winzige Hilfsentladung zur Katode aufrechterhalten, so daß immer einige Ionen vorhanden sind und damit für konstante Zündverhältnisse gesorgt ist. Sie hat also ähnliche Aufgaben wie die Zündhilfselektrode beim Glimmstabilisator (Bild 2.5.) und wird ähnlich angeschlossen.

4. Datenermittlung bei unbekannten Glimmröhren

Nicht selten hat der Amateur Glimmröhren, deren Typ, Herkunft und Verwendungszweck unbekannt sind. Nachfolgend sollen einige Hinweise zur Ermittlung von Daten gegeben und einige Anwendungsmöglichkeiten solcher Glimmröhren beschrieben werden.

4.1. Ermittlung der Anschlüsse bei unbekannten Glimmröhren

Im allgemeinen läßt sich nach dem Aussehen und der Größe der Glimmröhre bereits der Verwendungszweck feststellen. (Röhren mit unterschiedlichen, sehr großflächigen und ggf. sogar abgedeckten Elektroden können Stabilisatorröhren sein, Röhren mit gut sichtbar angeordneten kleinen Elektroden sind meist Signalglimmlampen; befindet sich im eventuell vorhandenen Sockel ein Vorwiderstand, so ist das mit Sicherheit anzunehmen.) Zunächst versucht man zu erkennen, welche Elektrode mit welchem Anschlußpol oder Sockelstift Verbindung hat. Bei mehrpoligen Stecksockeln (ähnlich Rundfunkröhren) wird oft entweder eine Elektrode an mehrere Stifte herausgeführt (was meist nur fertigungstechnische Gründe hat), oder ein Teil der Anschlußstifte endet „blind" im Röhreninnern – diese Stifte dürfen dann äußerlich nicht beschaltet werden! Im allgemeinen ist als sicher anzunehmen, daß die Elektrode mit der größten Fläche die Katode darstellt. Ihr dicht benachbarte sehr kleine Elektroden sind – besonders wenn sie zwischen Katode und Anode liegen – gewöhnlich Zündhilfselektroden. Es wird sich dann wahrscheinlich um einen Glimmstabilisator oder um ein Kaltkatoden-Thyratron handeln. Sind mehrere Hilfselektroden vorhanden, so ist es vermutlich ein Kaltkatoden-Thyratron.

Läßt sich nicht erkennen, welcher Anschluß zu welcher Elektrode gehört, so müssen die Anschlüsse ausgeprüft werden. Eine ausreichend hohe Gleichspannung (etwa 300 V oder mehr) wird über einen hohen Vorwiderstand (zunächst 500 kΩ, falls sehr kleine Elektroden vorhanden sind) an jeweils zwei der vorhandenen Anschlüsse gelegt. Die dabei Glimmlicht zeigende Elektrode ist dann mit Minuspol der Gleichspannung verbunden. Bei gekapselten Röhren (mit zylinderförmiger Katode und darin untergebrachter Anode) oder bei andersartig abgedeckten Elektroden kann man das Glimmlicht oft schwer erkennen. In besonderen Fällen muß man dann den Raum abdunkeln und das System von allen Seiten betrachten. Bestehen Zweifel, ob die Röhre überhaupt gezündet hat (die Zündspannung ist nicht bekannt und kann sehr hoch sein!), so muß die Prüfspannung erhöht werden. Auf diese Weise legt man zunächst die Elektroden und die dazugehörigen Anschlüsse fest. Die großflächigste Elektrode wird als Katode angesehen, die von ihr am weitesten entfernte, oft wesentlich kleinere Elektrode als Anode. Weitere Elektroden lassen sich schwieriger bestimmen. Je nach den später ermittelten elektrischen Daten der Hauptstrecke kann man dann annehmen, daß es sich um Zündhilfselektroden oder – bei Thyratrons – um Startelektroden handelt. Aus der Leuchtfarbe der Glimm-Erscheinung lassen sich ebenfalls Rückschlüsse ziehen. Rötlichgelbes bis rein rotes oder blaßrosa Licht mit zartblauem Einschlag läßt auf Neon- oder Neon/Quecksilber-Füllung schließen, es handelt sich dann wahrscheinlich um eine Signal- oder Stabilisatorglimmlampe. Ausgesprochen bläuliche oder bläulichviolette Lichtfarbe deutet dagegen auf ein Thyratron hin.
Nach diesen vororientierenden Prüfungen können die elektrischen Daten ermittelt werden.

4.2. Messung der elektrischen Kennwerte

Die Messung dieser Kennwerte geschieht in einer Prüfschaltung nach Bild 4.1. U_B muß größer sein als die Zünd-

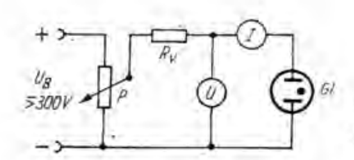


Bild 4.1.
Anordnung zur Datenermittlung von Glimmröhren

spannung der Glimmröhre, die aus der vorangegangenen Prüfung zumindest ungefähr bekannt ist. R_V bemißt man zunächst je nach Elektrodengröße mit etwa 100 bis 500 kΩ. Die größere Elektrode wird nach Minus U_B angeschlossen. Nun regelt man P sehr langsam auf und beobachtet dabei den (möglichst hochohmigen) Spannungsmesser U (geeignet sind Vielfachmesser mit 20 kΩ/V oder höher sowie Röhrenvoltmeter). Abzulesen ist der Spannungswert, der unmittelbar *vor* Zündung der Röhre angezeigt wurde – im Zündmoment geht die Spannung auf einen Wert in Nähe der Brennspannung zurück! Der unmittelbar vor Zündung abgelesene Wert (aus mehreren Messungen als Mittelwert genommen) wird als Zündspannung notiert. Danach regelt man P langsam herab, bis die Röhre verlöscht (erkennbar durch plötzlichen Anstieg der von U angezeigten Spannung). Der unmittelbar *vor* Verlöschen abgelesene Spannungswert wird als Löschspannung festgehalten. Danach regelt man P – eventuell mit verringertem R_V – so ein, daß gerade die ganze Katode mit Glimmlicht bedeckt scheint. An I und U können nun der als Maximum anzusehende Brennstrom und die dafür gültige Brennspannung abgelesen werden. Damit sind die für den Amateur wesentlichen Daten bestimmt. Aus ihrer Größe und ihrem Verhältnis zueinander kann man nun weitere Schlußfolgerungen auf den Bestimmungszweck der Röhre ziehen. Sollte es danach noch erforderlich sein, so nimmt man mit der Meßschaltung nach Bild 4.1. (entspricht der Schaltung in Bild 2.24.) die gesamte Kennlinie bis zum zuvor gefundenen Wert des maximalen Brennstroms auf (vgl. dazu Abschnitt 2.5.2.). Ergibt sich dabei eine in gewissem Bereich sehr flach verlaufende Kennlinie, so kann die Röhre eventuell als Stabilisator geeignet sein. Das ist als sicher anzu-

nehmen, wenn die Brennspannung in diesem Bereich einen näherungsweisen „Normwert" (bei 75, 85, 100, 140 oder 150 V) aufweist. Verläuft die Kennlinie ähnlich „krumm" wie in Bild 2.24., so wird es sich um eine Signalglimmlampe, bei auffällig großen oder für Signalzwecke ungünstig angeordneten Elektroden eventuell um eine Kippglimmröhre handeln.

Speziell für die Anwendung als Schalter kann das Minimum des dynamischen Innenwiderstands – soweit es im zulässig erscheinenden Brennstrombereich liegt, was keineswegs der Fall sein muß – außer aus der nach Bild 2.24. aufgenommenen Kennlinie auch meßtechnisch mit für Amateurzwecke ausreichender Genauigkeit mit Hilfe der Schaltung nach Bild 4.2. gefunden werden. Sie ist aus der Schaltung Bild 4.1. entstanden. Dem Brennstrom wird zusätzlich ein Wechselstrom überlagert, den man aus dem Transformator Tr – einem beliebigen kleinen Netztransformator mit etwa 10 V Spannungsabgabe – entnimmt. Der Elektrolytkondensator sorgt dafür, daß diese Wechselspannung in voller Höhe an der Serienschaltung Rv-Gl anliegt. Beide bilden einen Spannungsteiler, wobei die am dynamischen Innenwiderstand von Gl abfallende Wechselspannung über einen 0,1-μF-Kondensator abgenommen und einem Wechselspannungsröhrenvoltmeter (Eingangswiderstand größer als 1 MΩ) zugeführt wird. Aus der Höhe der Transformatorwechselspannung U_{Tr}, der vom Röhrenvoltmeter RVM angezeigten Teilspannung an Gl und Rv kann der

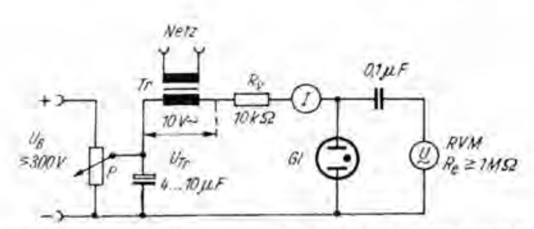


Bild 4.2. Anordnung zur Ermittlung des dynamischen Innenwiderstands einer Glimmlampe bei verschiedenem Brennstrom

Innenwiderstand Ri der Glimmlampe für den jeweils mit P eingestellten Arbeitspunkt nach der Näherungsgleichung

$$Ri \approx \frac{U_{RVM} \cdot Rv}{U_{Tr}}$$

errechnet werden; wobei sich mit $Rv = 10\,k\Omega$ und $U_{Tr} = 10\,V\sim$ $Ri \approx U_{RVM}$ (Ri in $k\Omega$, U_{RVM} in V) ergibt. Diese Vereinfachung gilt nur, solange $Ri < 1\,k\Omega$ ist. RVM muß demzufolge zur Anzeige geringer Spannungen geeignet sein. Kommt es lediglich auf Ermittlung des Ri-Minimums innerhalb des zulässig erscheinenden Brennstrombereiches an, ohne daß der zahlenmäßige Wert von Ri interessiert, so ist für RVM kein Anzeigeinstrument erforderlich. Man benutzt dann nur einen geeigneten hochohmigen Spannungsindikator, im einfachsten Fall einen nachgeschalteten, an Stelle RVM angeschlossenen NF-Verstärker und regelt P auf Brumminimum nach Gehör ein. Den dafür gültigen Brennstrom liest man bei I ab. Der 0,1-μF-Kondensator, über den die NF abgenommen wird, darf zur Vermeidung von Meßfehlern (die übertragene Frequenz beträgt nur 50 Hz!) nicht geringer, andererseits aber auch nicht wesentlich größer sein, da es sonst unter Umständen bereits zum Entstehen von Kippschwingungen kommen kann. Allerdings ist die Schaltung nach Bild 4.2. nicht exakt, läßt sich aber als Behelfsmethode schnell improvisieren; sie erspart außerdem eventuell die zeitraubende Kurvenaufnahme nach Bild 2.24.

5. Fehlererscheinungen an Glimmröhren

Glimmlampen, deren Druckverhältnisse sich – z. B. durch undichten Glaskolben, häufiger durch nachträgliches „Gasen" der Elektroden, besonders wenn diese überlastet werden – geändert haben (der Normaldruck liegt bei 0,2 bis 1,5 mb), haben meist beträchtlich erhöhte Zündspannung. Oft zünden sie gar nicht oder weisen nach Zündung an einer Ecke oder Spitze der Katode eine nahezu punktförmig begrenzte, meist bläuliche und gelegentlich büschelartig geformte Leuchterscheinung an Stelle des normalen, die Katode gleichmäßig bedeckenden Glimmlichts auf. Solche Lampen sind kaum noch für Signalzwecke, nicht mehr für Kippschaltungen, dagegen oft noch als Überspannungsbegrenzer (Schutzfunkenstrecke) ähnlich Bild 2.20. verwendbar; allerdings muß mit weiterer Zündspannungserhöhung bis zum völligen Ausfall gerechnet werden. Eine bei Signalglimmlampen häufige, aber keinen ausgesprochenen Fehler darstellende Alterungserscheinung ist die mit Glimmlicht ungleichmäßig bedeckte Katode, sofern das nicht durch zu geringen Brennstrom (defekter Vorwiderstand!) hervorgerufen wird. Letzteres kommt gelegentlich bei Signallampen mit eingebautem Vorwiderstand vor. Es lohnt sich dann durchaus, eine nicht mehr zündende Lampe zu entsockeln und den Vorwiderstand zu entfernen. War er unterbrochen, so kann die Lampe ohne Vorwiderstand wieder gesockelt und vollwertig benutzt werden (den Vorwiderstand ordnet man dann außerhalb des Sockels bei der Fassung an). Bei Glimmlampen mit großflächigen Elektroden und zu geringem Brennstrom kann es zu einem ständigen Wandern, Kreisen oder unregelmäßigem Springen des Glimmlichts auf der Katodenoberfläche kommen. Für Signallampen, Thyratrons u. ä. ist das unbedenklich (bei Thyratrons wird allerdings ein minimaler Katodenstrom vorgeschrieben; unterhalb dieses Katodenstroms

arbeiten sie unter Umständen unstabil). Auch bei Stabilisatoren sind diese Erscheinungen gelegentlich zu beobachten, wenn der Querstrom entweder zu gering oder der Stabilisator gealtert ist. Diese Erscheinung kann ohne äußere Auswirkung bleiben, jedoch auch zu sporadischen, meist nur geringen Brennspannungsschwankungen – damit zu verschlechterter Stabilisierung – führen. Tritt diese sporadische Spannungsschwankung in störendem Maße auf, so muß der Stabilisator gewechselt werden; er läßt sich aber in der Amateurpraxis noch ohne weiteres für Kippschaltungen benutzen.

Eine typische Alterungserscheinung stellt die Katodenzerstäubung dar. Sie erfolgt um so schneller, je höher der Brennstrom ist. Das von den aufprallenden Gas-Ionen allmählich zerstäubte Katodenmetall schlägt sich zunächst in Katodennähe, später im gesamten Glaskolben an dessen Innenwand nieder und schwärzt diese. Solange bei Signallampen nicht die Erkennbarkeit des Glimmlichts beeinträchtigt wird sowie – bei allen Glimmröhrenarten – die elektrischen Daten, insbesondere die Zündspannung, nicht verschlechtert werden, ist diese Erscheinung belanglos, bei Stabilisatoren und Thyratrons bis zu gewissen Graden sogar normal. Überschreiten des maximal zulässigen Katodenstroms beschleunigt die Katodenzerstäubung beträchtlich und verringert die Lebensdauer der Glimmröhre ganz erheblich. Auch bei relativ kurzzeitiger Überlastung kann es – wenn die Katode stark überlastet wird – schon zu bleibenden Änderungen der elektrischen Werte kommen. Gleiches gilt für die Anode. Bei Röhren mit ungleich großen Elektroden muß deshalb Falschpolung vermieden werden.

Glimmröhren, die längere Zeit außer Betrieb waren – insbesondere bei längerer Lagerung im Dunklen –, zünden anfangs oft schwer. Das gilt auch für Stabilisatoren. Es empfiehlt sich, solche Glimmröhren einige Stunden mit normalem Brennstrom zu betreiben. Die Zündung kann, wenn Spannungssteigerung nicht möglich ist, meist durch starke Lichtbestrahlung und leichte Erwärmung erzwun-

gen werden; nach dieser „Einbrennzeit" sind dann gewöhnlich die vorgeschriebenen Werte wieder erreicht. Insbesondere Stabilisatoren erreichen den endgültigen stabilen Zustand erst nach einer Einschaltzeit von (je nach Typ) 3 bis 15 min. Diese Erscheinung sowie die anfänglich erschwerte Zündung sind keine ausgesprochenen Fehler.

6. Anhang

Spannungsstabilisatorröhren der Deutschen Demokratischen Republik

Röhren des VEB Werk für Fernsehelektronik, Berlin

Typ	entspricht	Zünd-spannung U_Z (V) ≦	Mittlere Brenn-spannung U_B (V)	Mittlerer Querstrom I_q (mA)	Regelbereich $I_{q\,min}$ $I_{q\,max}$ (mA)	Innenwiderstand $R_i\sim$ (Ω)
StR 75/60	75 C 1	116	78	30	2 ··· 60	100
85/10	STV 85/10, 85 A 2, O G 3	125	85	6	1 ··· 10	250
90/10	90 C 1	125	90	20	1 ··· 40	300
100/80		150	101	45	5 ··· 80	20
108/30	STV 108/30, 108 C 1, O B 2	127	108	17,5	5 ··· 30	100
150/15	150 B 2, 6354, 180 Q S 1200	180	150	10	5 ··· 15	250
150/30	STV 150/30, 150 C 2, O A 2	180	150	17,5	5 ··· 30	100
Veraltete Typen bzw. Ersatzbestückung:						
StR 70/6	STV 70/6	100	78	4,5	3,5 ··· 6	
100/402	STV 100/402	150/180	101	30	10 ··· 40	80
150/120	STV 150/120	220	150	15	10 ··· 20	300
150/402		220	145	30	10 ··· 40	150
280/40	STV 280/40	500	285	30	10 ··· 40	280
280/80	STV 280/80	500	285	40	10 ··· 80	200

Röhren der Deutschen Glimmlampengesellschaft, Leipzig

Typ	entspricht	Zünd-spannung U_Z (V) ≦	Mittlere Brennspannung U_B (V)	Mittlerer Querstrom I_q (mA)	Regelbereich $I_{q min}$ $I_{q max}$ (mA)	Innenwiderstand $R_i \sim$ (Ω)
G R 28—10	G R 20—1, 22—1, 24—2, 25—1, 26—1	200	150		5 ··· 60	150
28—40	G R 20—4, 22—4, 25—4	140	102		5 ··· 60	100
28—60	G R 20—4, 22—4, 25—4	125	85		5 ··· 60	100
29—60	G R 27—1, 27—5	125	82		0,5 ··· 5	1000
Für Ersatzbestückung:						
G R 20—12	G R 150/D A	200	150		10 ··· 60	200
20—42	G R 100/D A	130	100		10 ··· 60	150
21—22	G R 145/D P	200	145		10 ··· 60	100
25—16	G R 100/D Z	130	90		3 ··· 15	200
26—16	G R 150/D K	200	150		3 ··· 15	600
27—16	G R 140/F	200	150		0,3 ··· 6	6000
Veraltete Typen:						
G R 22—10	G R 150/D M	200	150		10 ··· 60	300
22—40	G R 100/D M	130	100		10 ··· 60	150
22—70	G R 151/D M	200	150		3 ··· 15	400
27—56	G R 80/F	110	80		0,3 ··· 6	2000
25—30		210	108		5 ··· 60	150

Literaturhinweise

[1] Jakubaschk, Hagen: *Das große Elektronikbastelbuch,* Deutscher Militärverlag 1965

[2] Jakubaschk, Hagen: *Oszillografentechnik für den Amateur,* Teil I und Teil II. *Der praktische Funkamateur,* Band 44 und Band 45

[3] Morgenroth, Otto: *Funktechnische Bauelemente,* Teil III. *Der praktische Funkamateur,* Band 46

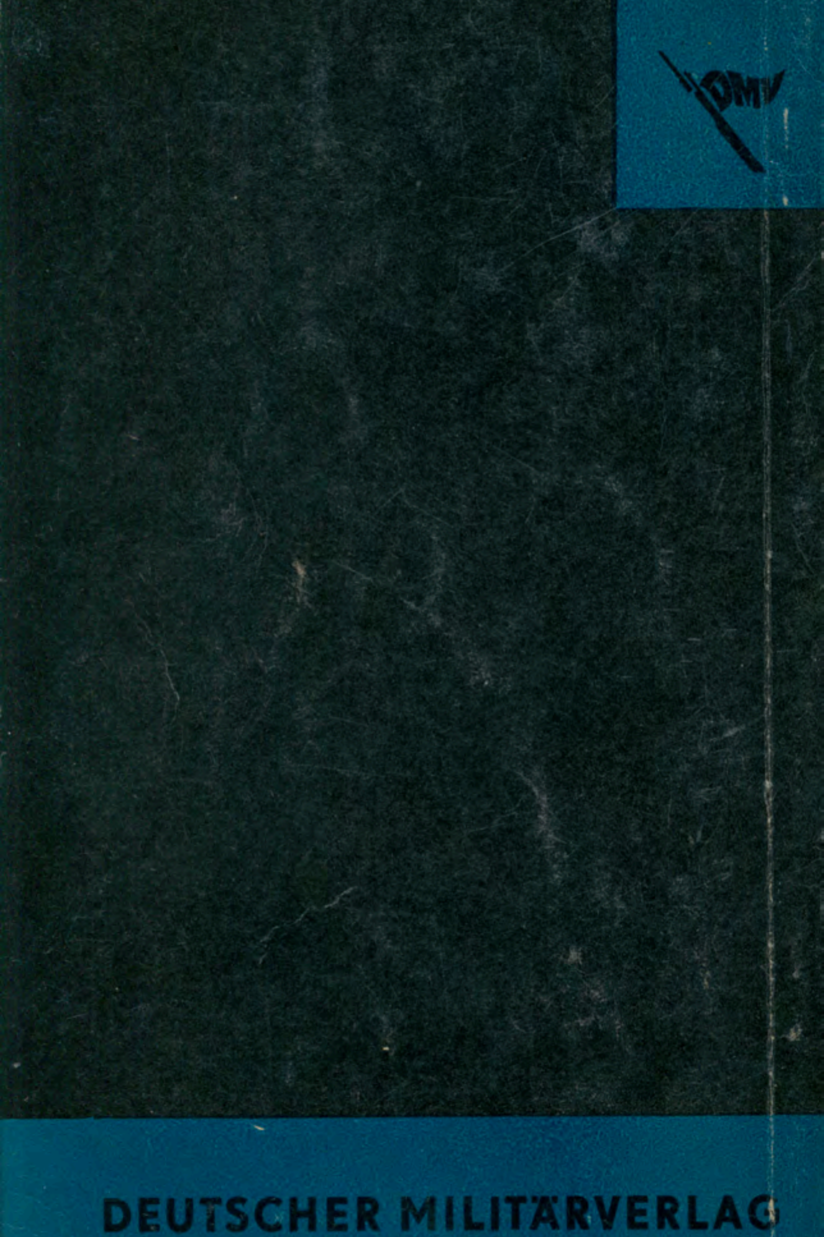
[4] Streng, Klaus K.: *Stromversorgungsteile für Sende- und Empfangsanlagen. Der praktische Funkamateur,* Band 49

[5] Goedecke, Claus: *Elektronisches Rechnen für den Amateur. Der praktische Funkamateur,* Band 53

RFT-Röhrenwerke der DDR: Röhren-Datenblätter, Röhrenlisten, Katalog „Spezialröhren und gasgefüllte Röhren"

VEB Werk für Fernsehelektronik: Informationsblätter Glimmzählröhren, Ziffernanzeigeröhren, Thyratrons

Deutsche Glimmlampengesellschaft Pressler KG, Leipzig: Daten- und Informationsblätter Glimmzählröhren und Signalglimmlampen aller Art, Spezialglimmlampen



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG